

Analyse der Reisegeschwindigkeiten von Verkehrssystemen im urbanen Raum

Masterarbeit im Studiengang
Planung und Betrieb im Verkehrswesen
am Fachgebiet für
Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik

Institut für Land- und Seeverkehr
Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme

Vorgelegt von: Jasper Märtens
Matrikelnummer: 371891

Betreuung: Prof. Dr. Kai Nagel
Kathrin Viergutz, M.Sc.

Berlin, 26.09.2017

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und eigenhändig sowie ohne unerlaubte fremde Hilfe und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Berlin, den 26.09.2017

.....

Jasper Märtens

Abstract

This master thesis analyses the travel time of several means of transport in 13 German cities by using the Google Maps Routing application programming interface (API). The included means of transport are private passenger car, public transport, public transport with bus only and bicycle. Travel times are determined by Google Maps route calculation between origin and destination points inside the cities. The points are placed with a distance of one to three kilometers to each other. The location of the points is chosen on public transport stops to avoid walking time that is required to arrive at the point. In order to assess the travel times, two key figures are calculated: bee line speed and travel time ratio between the means of transport. Regression analysis is carried out for these key figures to obtain several levels of quality.

The aim is to compare travel times of different modes of transport and to evaluate if there is a link between the number of inhabitants of the city and the observed travel time. In cities smaller than one million inhabitants the passenger car is mostly the fastest mode of transport. In bigger cities, the quality of travel time of passenger car and public transport are similar. While only public transport bus is mostly slower than public transport in general in all cities, the travel time of bicycling is mostly between the travel time of public transport and passenger car.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
1 Einleitung.....	10
2 Methodik.....	11
2.1 Untersuchungsraum.....	11
2.1.1 Abgrenzung des urbanen Raums.....	11
2.1.2 Auswahl und Kategorisierung der urbanen Räume	13
2.2 Definition Reisezeit.....	15
2.3 Ermittlung der Reisezeit.....	16
2.3.1 Ansatz	16
2.3.2 Beförderungszeit.....	18
2.3.3 Anbindungszeiten	20
2.3.4 Auswahl geeigneter Start-Ziel-Relationen.....	23
2.4 Wahl eines dynamischen Online-Kartendienstes.....	27
2.4.1 Vergleich von Online-Kartendiensten.....	27
2.4.2 Erfahrungen mit Google Maps.....	31
2.4.3 Erfahrungen mit HERE Maps	32
2.4.4 Zwischenfazit.....	34
2.5 Bewertung der Reisezeit.....	35
2.5.1 Kenngrößen	35
2.5.2 Herleitung von Qualitätsstufen	38
2.6 Zusammenfassung der Rahmenbedingungen.....	40
2.7 Implementierung.....	41
3 Ergebnisse	45
3.1 Datenaufbereitung.....	45
3.2 Verkehrsmittelübergreifende Ergebnisse	46
3.2.1 Zwischenergebnisse	46
3.2.2 Bewertung	50
3.3 Motorisierter Individualverkehr	54
3.3.1 Luftliniengeschwindigkeit.....	54
3.4 Öffentlicher Personennahverkehr	57
3.4.1 Reisezeitverhältnis.....	58
3.4.2 Luftliniengeschwindigkeit.....	60
3.5 Busverkehr.....	62
3.5.1 Reisezeitverhältnis.....	63

3.5.2 Luftliniengeschwindigkeit.....	64
3.6 Radverkehr.....	66
3.6.1 Reisezeitverhältnis.....	66
3.6.2 Luftliniengeschwindigkeit.....	68
3.7 Vergleich Google Maps und HERE Maps	72
3.8 Zusammenfassung.....	76
4 Fazit.....	77
Literaturverzeichnis	78
Anhang	81
I. Untersuchungsräume	81
II. Referenzpunkte	91
III. Ungewichtete Werte	104

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsraum Hamburg und Bevölkerungsdichte 2014.....	13
Abbildung 2: Erreichbarkeitsanalyse der Warschauer Nationalbibliothek.....	24
Abbildung 3: Dreiecksnetz zwischen zentralen Orten	25
Abbildung 4: Referenzpunkte in Hamburg.....	27
Abbildung 5: Abweichungen zwischen Koordinaten von Google Maps (G), Bing Maps (B) und Mapquest (M)	31
Abbildung 6: Vorkommen von Fehler „no route found“ im ÖV-Routing von HERE Maps...	34
Abbildung 7: ÖV-Routen aus HERE Maps, die nur aus Fußwegen bestehen	34
Abbildung 8: Qualitätsstufen für die Luftliniengeschwindigkeit im Pkw-Verkehr	38
Abbildung 9: Kennwerte der Luftliniengeschwindigkeit für den Pkw-Verkehr und resultierende Regressionskurve	39
Abbildung 10: Implementation der Reisezeitberechnung	42
Abbildung 11: Besetzung der Entfernungsklassen in allen Städten.....	46
Abbildung 12: Stufen der Angebotsqualität (SAQ) der Luftliniengeschwindigkeit je Stadtkategorie	52
Abbildung 13: Stufen der Angebotsqualität (SAQ) des Reisezeitverhältnisses je Stadtkategorie	53
Abbildung 14: Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit MIV im Vergleich.....	55
Abbildung 15: Luftliniengeschwindigkeit MIV je Stadtkategorie	56
Abbildung 16: Umweg im MIV zur Erreichung des Zielpunkts auf Richtungsfahrbahn	57
Abbildung 17: Reisezeitverhältnis ÖV/MIV je Stadtkategorie	59
Abbildung 18: Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit ÖV nach RIN	61
Abbildung 19: Luftliniengeschwindigkeit ÖV je Stadtkategorie.....	61
Abbildung 20: Reisezeitverhältnis Bus/MIV je Stadtkategorie	64
Abbildung 21: Luftliniengeschwindigkeit Bus je Stadtkategorie	65
Abbildung 22: Qualitätsstufen des Reisezeitverhältnisses Fahrrad/MIV	66
Abbildung 23: Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV je Stadtkategorie	68
Abbildung 24: Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit Fahrrad.....	70
Abbildung 25: Luftliniengeschwindigkeit Fahrrad je Stadtkategorie.....	71
Abbildung 26: Vergleich der Reisezeit im MIV von Google und HERE Maps.....	73
Abbildung 27: Vergleich der Reisezeit im ÖV von Google und HERE Maps.....	74
Abbildung 28: Vergleich der Reisezeit im Radverkehr von Google und HERE Maps	75
Abbildung 29: Einwohnerdichte Berlin und Untersuchungsraum (S-Bahnring) 2015	81
Abbildung 30: Einwohnerdichte Hamburg und Untersuchungsraum 2014	82
Abbildung 31: Einwohnerdichte München und Untersuchungsraum 2015	83
Abbildung 32: Einwohnerdichte Köln und Untersuchungsraum 2015	84
Abbildung 33: Einwohnerdichte Stuttgart und Untersuchungsraum 2014	85
Abbildung 34: Einwohnerdichte Düsseldorf und Untersuchungsraum 2015.....	86
Abbildung 35: Einwohnerdichte Dresden und Untersuchungsraum 2016	87
Abbildung 36: Einwohnerdichte Wuppertal und Untersuchungsraum 2015	88
Abbildung 37: Einwohnerdichte Braunschweig und Untersuchungsraum 2014	89
Abbildung 38: Einwohnerdichte Oldenburg und Untersuchungsraum 2016	90
Abbildung 39: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Berlin.....	91
Abbildung 40: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Hamburg	92
Abbildung 41: Referenzpunkte und Untersuchungsraum München	93

Abbildung 42: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Köln	94
Abbildung 44: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Stuttgart	95
Abbildung 45: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Düsseldorf.....	96
Abbildung 46: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Dresden	97
Abbildung 47: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Wuppertal	98
Abbildung 48: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Bonn.....	99
Abbildung 48: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Braunschweig	100
Abbildung 49: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Freiburg	101
Abbildung 50: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Potsdam.....	102
Abbildung 51: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Oldenburg	103

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stadttypen nach Bevölkerungszahl	14
Tabelle 2: Untersuchungsgrenzen der Großstädte und ausgewählte Städte	15
Tabelle 3: Zugangszeit t_{ZU} , Abgangszeit t_{Ab} und Parksuchzeit t_{PS} im Pkw-Verkehr	21
Tabelle 4: Zugangszeit t_{ZU} , Startwartezeit t_{SW} und Abgangszeit t_{Ab} im ÖV	22
Tabelle 5: Vergleich von Routing APIs. Stand: Juni 2017	29
Tabelle 6: Routeneigenschaften bei unterschiedlichen Routen nach dem Kriterium kürzeste Route (DS) und schnellste Route (DF) von Google Maps (G), Bing Maps (B) und Mapquest (M)	30
Tabelle 7: Stufen der Angebotsqualität (SAQ)	37
Tabelle 8: Grenzen der SAQ für das Reisezeitverhältnis von ÖV und Pkw-Verkehr im Nahbereich bis 10 km	40
Tabelle 9: Verwendete Parameter für die Routenberechnung in Google und HERE Maps ..	44
Tabelle 10: Anzahl und Anteil der Ausreißer bei 1.833 Routen insgesamt	45
Tabelle 11: Besetzung und resultierende Gewichtung der Entfernungsklassen	46
Tabelle 12: Kennwerte (Mittelwert) je Stadt	49
Tabelle 13: Parameter der Kurven der Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit MIV im Vergleich	55
Tabelle 14: Parameter der Gerade der Angebotsqualität des Reisezeitverhältnisses ÖV/MIV nach RIN	58
Tabelle 15: Parameter der Gerade des Reisezeitverhältnisses Fahrrad/MIV	66
Tabelle 16 Parameter der Kurven der Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit Fahrrad	69
Tabelle 17: Ungewichtete Kennwerte (Mittelwert) je Stadt	104

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
CSV	Comma Seperated Values
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr
EVE	Empfehlungen für Verkehrserhebungen
FCD	Floating Car Data
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GIS	Geoinformationssystem
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ISO	International Organization for Standardization
IV	Individualverkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
SAQ	Stufe der Angebotsqualität
SPNV	Schienenpersonennahverkehr

1 Einleitung

„Wie komme ich am schnellsten an mein Ziel?“ – diese Fragen stellen sich vermutlich viele Personen, wenn sie entscheiden, mit welchem Verkehrsmittel und entlang welcher Route sie sich fortbewegen werden. Tatsächlich ist der Zeitaufwand aus Nutzersicht das entscheidende Kriterium zur Bewertung der Angebotsqualität eines Verkehrssystems und wird auch bei der Planung von Verkehrsnetzen berücksichtigt [1, S. 19]. Dieses wichtige Kriterium wird in dieser Arbeit verwendet, um die Qualität von Verkehrssystemen in urbanen Räumen zu vergleichen und Zusammenhänge zwischen Stadtgröße und Zeitaufwand zu untersuchen. In der Analyse werden der motorisierte Individualverkehr (MIV), der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV), der Radverkehr und der Busverkehr als Teil des ÖPNV betrachtet.

Der Schwerpunkt der Analyse liegt einerseits auf einem eventuellen Zusammenhang von Reisegeschwindigkeiten und Stadtgröße und andererseits auf dem Vergleich zwischen den Verkehrssystemen. Aus der Kombination dieser Schwerpunkte ergibt sich folgende Forschungsfrage, die am Ende der Untersuchung beantwortet werden soll: mit welchen Verkehrssystemen kann je nach Stadtgröße eine möglichst gut bewertete Reisezeit erzielt werden?

Die Vorgehensweise der Untersuchung gliedert sich in verschiedene Bestandteile, für die in Kapitel 2 jeweils eine Methode anhand einer Literaturrecherche entwickelt wird.

Zunächst wird der urbane Raum definiert und 13 deutsche Großstädte ausgewählt, in denen jeweils ein urbaner Raum identifiziert wird. Damit ist auch ein Vergleich der 13 Großstädte untereinander möglich. Für die weitere Auswertung wird außerdem eine Kategorisierung der 13 Großstädte anhand der Einwohnerzahl durchgeführt.

Für die Berechnung der Reisezeiten und Entfernungen ist es zunächst notwendig, zu definieren, was Reisezeit im Sinne dieser Arbeit bedeutet. Anschließend werden in jedem urbanen Raum Routen definiert, auf denen die Reisezeit mithilfe eines Online-Kartendienstes berechnet wird. Dafür werden die Positionen und die Anzahl der Start- und Zielpunkte festgelegt und es wird ein Online-Kartendienst für die Routenberechnung ausgewählt.

Für die Analyse der errechneten Reisezeiten ist abschließend eine Bewertungsmethode erforderlich, die die Beurteilung der Qualität der Reisezeit ermöglicht.

Die berechneten Ergebnisse werden in Kapitel 3 in zwei Schritten dargestellt: zunächst werden nur die Zwischenergebnisse, nämlich die Werte der berechneten Kenngrößen betrachtet, um eventuelle Verzerrungen durch ein Bewertungsverfahren auszuschließen. Anschließend werden die Daten unter Anwendung des entwickelten Bewertungsverfahrens erneut dargestellt und analysiert.

2 Methodik

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die Ermittlung und Bewertung der Reisezeiten in urbanen Räumen erläutert, um anschließend eine geeignete Methode auswählen und diskutieren zu können. Dafür werden in Kapitel 2.1.1 die Charakteristika von urbanen Räumen dargestellt, um diese gegenüber ländlichen und anderen Räumen abgrenzen zu können. In Kapitel 2.1.2 werden mehrere urbane Räume als Untersuchungsräume festgelegt und kategorisiert. Dies ist erforderlich, um die Untersuchungsgebiete, in denen Reisezeiten untersucht werden sollen, möglichst eindeutig abgrenzen zu können und den Einfluss von Stadtgröße auf Reisezeiten zu bestimmen. Nach einer Definition der Reisezeit in Kapitel 2.2 werden in Kapitel 2.3 verschiedene Methoden und Ansätze vorgestellt und ihre Eignung diskutiert. Dabei wird festgelegt, welche Bestandteile der Reisezeit erfasst werden und Start-Ziel-Relationen innerhalb der Untersuchungsräume werden definiert. In Kapitel 2.4 wird die Wahl eines Online-Kartendienstes zur Routenberechnung diskutiert und erste Erfahrungen in der Anwendung vorgestellt. Anschließend wird in Kapitel 2.5 auf die Bewertung der Reisezeit eingegangen und vorhandene Bewertungsskalen und ihre Herleitung betrachtet. Kapitel 2.6 fasst die ausgewählten Methoden und Rahmenbedingungen zusammen und leitet über in die Implementierung der Methoden in Kapitel 2.7.

2.1 Untersuchungsraum

2.1.1 Abgrenzung des urbanen Raums

Urban von lateinisch *urbs* (Stadt) bedeutet der Stadt zugehörig [2, S. 10]. Urbane beziehungsweise städtische Räume sind stark verdichtete Gebiete, die anhand siedlungsstruktureller Kriterien erfasst werden können und sich damit von ländlichen Gebieten mit hohem Freiraumanteil abgrenzen [3]. Die Raum- und Siedlungsstruktur trennt nicht nur urbane von ländlichen Räumen, sondern ist ein wichtiger struktureller Einflussfaktor auf das Mobilitätsverhalten und ist eng mit dem Ausbau der Verkehrssysteme verwoben [4, S. 27f.], was sich auf die zu untersuchende Reisezeit auswirken kann. Der betrachtete Raum kann je nach Analyseschwerpunkt zu höheren Raumaggregaten zusammengefasst werden, die sich zum Beispiel an Verwaltungseinheiten wie Städten oder Landkreisen orientieren. Für eine Raumtypisierung in städtische und ländliche Räume eignen sich die Bevölkerungsdichte und der Siedlungsflächenanteil. Innerhalb eines Gebiets, zum Beispiel einer Stadt-Land-Region, werden beide Kennwerte feinkörnig analysiert und überdurchschnittlich hohe Werte zu städtischen Räumen klassifiziert. Das Ergebnis hängt also stark von der Körnigkeit der Analyse und den gewählten Klassengrenzen ab. Je nach Struktur der Region ergeben sich damit

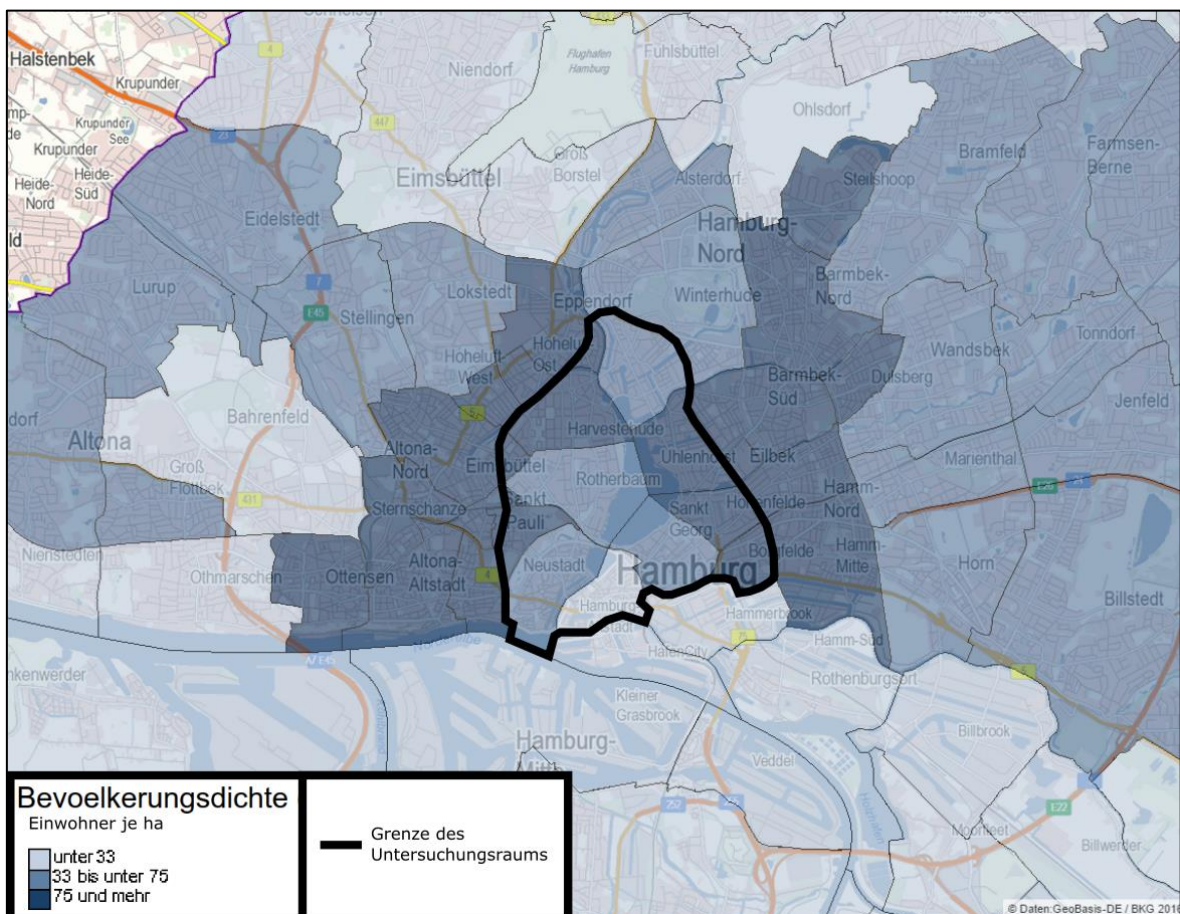
unterschiedliche Klassengrenzen für die Zugehörigkeit eines Gebiets zum städtischen Raum [3]. Es werden also keine starren Grenzwerte für die Kriterien vorgeschlagen, sondern dynamische Grenzwerte für Bevölkerungsdichte und Siedlungsflächenanteil, die überdurchschnittlich hoch im betrachteten Untersuchungsgebiet sind.

Für die Bestimmung von Urbanität sind die klassischen Kriterien bauliche Dichte und Bevölkerungsdichte jedoch nicht ausreichend. Sie sollten um die soziale Dichte und die Nutzungsmischung ergänzt werden, um ebenfalls kulturelle Aspekte zu berücksichtigen. Die soziale Dichte bemisst sich an der Anzahl von Menschen in einem Gebiet, geht darüber hinaus jedoch auch auf die Aktivitäten der Personen ein. Daraus ergeben sich weitere Kriterien wie die Interaktionsdichte und Beschäftigtendichte. Heterogenität und Lebendigkeit zeigen sich in der Nutzungsmischung eines Gebiets. Verschiedene Nutzungen sind Wohnen, Arbeiten und Erholung und können kleinteilig auf Quartiersebene (horizontal) oder innerhalb eines Baukörpers (vertikal) gemischt sein [2, S. 10]. Dadurch kann gewährleistet werden, dass Bereiche mit hohem Personenaufkommen, aber geringer Bevölkerungsdichte (zum Beispiel Innenstädte, Einkaufsstraßen) in der Betrachtung berücksichtigt werden.

Aufgrund der Vielzahl von Kriterien zur Abgrenzung urbaner Räume einerseits und andererseits des Mangels an detaillierten Informationen, um jedes Kriterium für einen Untersuchungsraum zu bestimmen, werden die urbanen Räume in dieser Arbeit anhand der bekannten Abgrenzungen von Innenstädten als Grundlage für den Untersuchungsraum gewählt. Die verschiedenen Bezeichnungen für die Innenstadt wie Stadtzentrum, City, der historische Stadtkern oder Altstadt gelten als symbolischer Kern einer Stadt und bündeln eine Vielzahl von Nutzungen bei hoher baulicher und sozialer Dichte [2, S. 254]. Innenstädte können also als Hinweis auf urbane Räume gewählt werden. Um die städtebauliche Entwicklung über traditionelle Innenstadtgrenzen hinweg zu berücksichtigen, wird auch das klassische Kriterium Bevölkerungsdichte hinzugezogen und der Innenstadtbereich auf den unmittelbar angrenzenden urbanen Raum ausgeweitet. Als Untersuchungsraum ergibt sich damit die Innenstadt, die um den urbanen Raum erweitert wurde. Der Untersuchungsraum je ausgewählter Stadt ist auf den jeweiligen offiziellen Karten der Städte mit der Bevölkerungsdichte eingezeichnet. In Abbildung 1 ist beispielhaft der Untersuchungsraum und die Bevölkerungsdichte der Stadt Hamburg dargestellt. Das Untersuchungsgebiet Hamburgs umfasst die Innenstadt, die die Binnenalster umgibt. Es wird im östlichen Teil durch die Bundesstraße 6 und im westlichen Teil durch eine S-Bahn-Trasse begrenzt. Es wird deutlich, dass der Untersuchungsraum nicht deckungsgleich mit den Gebieten höchster Bevölkerungsdichte ist, da auch die beschriebenen weiteren Kriterien berücksichtigt wurden. Im Innenstadtbereich kann die Bevölkerungsdichte lokal geringer sein, als in anderen Teilen der Stadt, da trotz

hoher räumlicher Dichte auch eine hohe gewerbliche Nutzung vorliegt. Durch diese für urbane Räume typische Mischnutzung kommt es auch zu lokalen Unterschieden der Bevölkerungsdichte innerhalb der Innenstadt. In Hamburg ist außerdem zu beachten, dass die Binnenalster als eine natürliche Barriere für Verkehrsbeziehungen einen großen Raum im Zentrum des Untersuchungsgebiets einnimmt. Start-Ziel-Relationen, die über die Binnenalster hinwegführen, können durch zu fahrende Umwege also vergleichsweise hohe Reisezeiten haben.

Abbildung 1: Untersuchungsraum Hamburg und Bevölkerungsdichte 2014



Quelle: [5]

2.1.2 Auswahl und Kategorisierung der urbanen Räume

Für die vergleichende Analyse urbaner Räume ist es sinnvoll, ähnliche Räume durch Gruppierungen gemeinsam zu betrachten. Dadurch treten die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen unterschiedlichen urbanen Räumen hervor. Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung gruppiert Städte anhand ihrer Bevölkerungszahl in Klein-, Mittel- und Großstädte, wie in Tabelle 1 dargestellt [6].

Tabelle 1: Stadttypen nach Bevölkerungszahl

Stadttyp		Bevölkerungszahl	
		von	bis
Großstadt	groß	500.000	Unbeschränkt
	klein	100.000	500.000
Mittelstadt	groß	50.000	100.000
	klein	20.000	50.000
Kleinstadt	groß	10.000	20.000
	klein	5.000	10.000

Quelle: [6]

Die Unterscheidung der Großstädte in nur die beiden Kategorien „groß“ und „klein“ erscheint jedoch als zu grob, da die Bevölkerungszahlen der Großstädte einen sehr großen Bereich von 100.000 bis hin zu mehreren Millionen Einwohnern im Falle von Berlin abdecken. Daher werden drei weitere Kategorien hinzugefügt, die die bisherigen Kategorien bei 250.000, eine Million und 2,5 Millionen Einwohner teilen (siehe Tabelle 2).

Klein- und Mittelstädte sind urbane Räume gegenüber ihrem ländlichen Umland. Sie sind jedoch selbst oft Teil des ländlichen Umlands einer Großstadt und der Grad der Urbanität in Klein- und Mittelstädten ist deutlich geringer als in Großstädten. Eine Betrachtung der Klein- und Mittelstädte würde damit in vielen Fällen lediglich eine feinkörnigere Analyse des ländlichen Umlands von Großstädten bedeuten, sodass es insgesamt sinnvoll erscheint, den Untersuchungsschwerpunkt auf die Großstädte zu legen. Innerhalb dieser Kategorien wurden jeweils drei Städte ausgewählt, wobei Berlin aufgrund des starken Einwohnerunterschieds zu den nächstgrößten deutschen Städten die einzige Stadt in der Kategorie ab 2,5 Millionen Einwohnern ist. Die zu untersuchenden Städte mit ihren zugeordneten urbanen Räumen und die resultierenden Kategorien der Stadtgrößen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Untersuchungsgrenzen der Großstädte und ausgewählte Städte

Stadttyp	Bevölkerungszahl		Ausgewählte Städte
	von	bis	
Großstadt	2.500.000	unbeschränkt	Berlin
	1.000.000	2.500.000	Hamburg, München, Köln
	500.000	1.000.000	Düsseldorf, Stuttgart, Dresden
	250.000	500.000	Braunschweig, Wuppertal, Bonn
	100.000	250.000	Oldenburg, Potsdam, Freiburg

Quelle Einwohnerzahlen: [7]

2.2 Definition Reisezeit

Die Reisezeit wird je nach verwendeter Literatur unterschiedlich definiert und unterscheidet sich meist darin, ob zur reinen Fahrzeit mit dem Verkehrsmittel noch Zeiten für das Erreichen des Verkehrsmittels beziehungsweise der Haustür des Ziels hinzugerechnet werden.

Eine umfangreiche Reisezeit ist der Zeitaufwand für eine Ortsveränderung von der Tür der Startadresse bis zur Tür der Zieladresse, auch komplexe Reisezeit genannt [8, S. 21]. Sie besteht aus verschiedenen Komponenten, die abhängig vom gewählten Verkehrssystem sind und die in Summe die Reisezeit ergeben [1, S. 21]:

- Zugangszeit:
Gehzeit von erster Adresse bis Fahrzeug oder Haltestelle des ÖPNV.
- Wartezeit:
Wartezeit an Haltestelle des ÖPNV.
- Beförderungszeit:
Zeit von Einstieg in das Fahrzeug bis zum Verlassen des Fahrzeugs. Beim ÖPNV beinhaltet diese Zeit auch eventuelle Umsteigezeiten und Zwischenhalte. Beim MIV beinhaltet diese Zeit auch die Parksuchzeit.
- Abgangszeit:
Gehzeit vom Fahrzeug bis zur Zieladresse.

Diese Definition wird beispielsweise bei der Bewertung der Angebotsqualität in den Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN) [1, S. 21] und im System repräsentativer Verkehrsbefragungen (Mobilität in Städten) [8, S. 21] verwendet.

Eine andere verbreitete Definition sieht die Reisezeit dagegen als die benötigte Zeit, um eine Route zwischen zwei beliebigen Punkten zurückzulegen und kann bei Bedarf weiter in die Zeit, während der das Fahrzeug sich bewegt, und die Zeit, in der es steht, unterteilt werden [9, S. 20]. In den RIN wird diese Zeit Fahrtzeit genannt [1, S. 29].

Die Verkehrsbefragung „Mobilität in Deutschland“ lässt nicht erkennen, ob die Zu- und Abgangszeiten zur Reisezeit hinzugezählt werden. Hier wird die Startzeit im Fragebogen mit der Frage „Wann sind Sie losgegangen oder gefahren?“ abgefragt [10, S. 16].

In dieser Arbeit wird als Reisezeit die einfache Reisezeit beziehungsweise Fahrtzeit ohne Zu- und Abgangszeiten verwendet.

2.3 Ermittlung der Reisezeit

2.3.1 Ansatz

Grundsätzlich können drei verschiedene Ansätze zur Ermittlung der Reisezeit unterschieden werden: Messen, Beobachten und Modellieren der Reisezeit [11, S. 10].

Für das **Messen** werden Routen befahren und die Reisezeit festgehalten. Um realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten, sind jedoch mehrere Messungen über einen langen Zeitraum erforderlich und verursachen einen hohen Aufwand, insbesondere bei steigender Anzahl von Routen. Darüber hinaus kann diese Methode nicht bei neu geplanten Verkehrsnetzen angewandt werden [11, S. 10]. Das Messen der Reisezeit wird auch als traditioneller Ansatz bezeichnet. Die Reisezeit wird durch das empirische Sammeln von Daten und das anschließende Auswerten mithilfe von Verkehrsflussmodellen ermittelt. Das Sammeln der Daten erfolgt meist durch stationäre Messeinrichtungen oder manuelle Erhebungen, die aufgrund der hohen Kosten jedoch oft nur auf kleinen Teilen des Verkehrsnetzes durchgeführt werden. Außerdem schwanken die Reisezeiten in urbanen Räumen stark in Abhängigkeit von Tageszeit, Wochentag sowie der Lage und Funktion der verschiedenen Straßen. Diese Methoden stoßen bei der großflächigen, netzwerkweiten Ermittlung von Reisezeiten an ihre Grenzen und können durch neue Technologien wie zum Beispiel Floating Car Data (FCD) unterstützt werden [12, S. 339].

Beim **Beobachten** der Reisezeit werden Fahrten analysiert, die durch Systeme wie FCD, Kennzeichenerfassungssysteme und Ähnlichem beobachtet werden. Aufgrund der geringen Verbreitung solcher Systeme ist der Einsatz jedoch nur beschränkt möglich [11, S. 10]. Mit dem Einsatz dieser neuen Technologien aus dem Bereich der Telematik können die Probleme des traditionellen Ansatzes vermieden werden. Insbesondere durch die steigende Verbreitung von globalen Satellitennavigationssystemen und deren Nutzung zur Routensuche kann die Datenerfassung durch FCD unterstützt oder ersetzt werden. Bei FCD werden Reisezeiten von einzelnen Fahrzeugen erfasst und erlauben in aggregierter Form einen Rückschluss auf den Verkehrsablauf. Bei Taxi-Flotten, die ohnehin über entsprechende Geräte

zur GPS-Ortung und Datenübermittlung verfügen, entstehen keine weiteren Übertragungskosten und es können große Datenmengen erfasst werden, die weite Teile eines städtischen Netzes beschreiben [12, S. 339].

Durch das **Modellieren** mittels eines makro- oder mikroskopischen Verkehrsmodells kann die Reisezeit berechnet werden und ist sowohl auf geplante als auch auf große Bestandsnetze anwendbar. Für solche Modelle sind jedoch zuverlässige Netz- und Nachfragedaten notwendig [11, S. 10]. Verkehrsflussmodelle ergeben häufig Geschwindigkeit-Verkehrsstärke-Diagramme und Ganglinien, die jedoch nicht im Detail die Situation auf den einzelnen Straßen wiedergeben können, weil die Modellierung zahlreicher Einflüsse sehr komplex ist. Bereits die Übertragung der Reisezeit einer Straße auf eine andere Straße ist sehr aufwändig und erfordert detaillierte Kenntnis der Infrastruktur [12, S. 339].

Für die Berechnung der Reisezeiten und weiterer Kenngrößen ist eine große Anzahl von Start-Ziel-Verbindungen erforderlich [1, S. 42]. Um in den 13 ausgewählten Untersuchungsräumen die Reisezeiten zu ermitteln, wäre das lokale Messen der Reisezeit zu aufwändig. Es liegen auch keine Daten aus Beobachtungen oder Verkehrsmodellen für die Modellierung der Reisezeit vor.

Es können jedoch auch Verfahren zur Routensuche zum Einsatz kommen. Dafür sind besonders Verkehrsplanungsprogramme mit integrierter Umlegung, aber auch Routenplanungs- und Fahrgastinformationssysteme geeignet [1, S. 42].

Viele Online-Kartendienste wie zum Beispiel Google Maps bieten eine kostenlose Online-Routenplanung an und verwenden dabei ein eigenes Verkehrsmodell, aus dem sich Reisezeit und Entfernung ergeben. Dadurch können verkehrswissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt werden, ohne dass ein eigenes Verkehrs- und Netzmodell benötigt wird. Im Fall von Google Maps kombiniert dieses Verkehrsmodell Daten aus historischen Reisezeiten, lokalen Messeinrichtungen, Taxi-FCD und weiteren Quellen [13, S. 98].

Online-Kartendienste bieten einige Vorteile gegenüber Geoinformationssystemen (GIS)-Programmen. So müssen für die Verwendung eines Online-Kartendienstes keine Netzwerkdaten vorbereitet werden. Darüber hinaus wird die Kartengrundlage von Online-Kartendiensten ständig aktualisiert und kann gegebenenfalls besser der Realität entsprechen als ein zu einem bestimmten Zeitpunkt generiertes Netzwerk [14, S. 203].

Über die Webseiten der Anbieter können Start und Ziel eingegeben und die vorgeschlagenen Routen betrachtet werden. Aufgrund der Vielzahl der zu untersuchenden Start-Ziel-Relationen ist es vorteilhaft, Start und Ziel nicht manuell in das Formular zur Routenabfrage einzugeben, sondern die Ermittlung der Reisezeiten zu automatisieren. Durch eine Automatisierung kann einerseits eine hohe Zeitersparnis erzielt werden und darüber hinaus kann die Abfrage wiederholt werden, um beispielsweise Reisezeiten zu verschiedenen Uhrzeiten

zu ermitteln. Die Start- und Zielpunkte können in der Automatisierung flexibel ergänzt beziehungsweise angepasst werden und das Verfahren kann auch auf ähnliche Fälle übertragen werden, in denen die Reisezeit zwischen einer großen Anzahl von Orten bestimmt werden muss. Darüber hinaus enthält die Beschreibung der berechneten Route über die Anwendungsprogrammierschnittstelle (Application Programming Interface - API) detailliertere Informationen als die Visualisierung im Browser. So wird zum Beispiel auch bei ÖV-Routen die Entfernung in Kilometern angegeben.

Für die automatisierte Reisezeitermittlung bieten viele Online-Kartendienste eine API an. Eine API beschreibt im Allgemeinen die zulässigen Systemaufrufe und gibt an, wie Dienstaufrufe zu programmieren und zu verwenden sind [15, S. 42].

Am Beispiel von Google Maps zeigen sich jedoch auch Nachteile von Online-Kartendiensten. Die internen Prozesse von Google Maps sind nicht transparent und die von Google verwendeten Methoden können nicht angepasst werden. Es kann lediglich aus einer Auswahl zur Verfügung stehender Parameter bei der Routenberechnung ausgewählt werden [14, S. 208]. Da auch andere Online-Kartendienste ähnlich wenig transparent sind, müssen die nicht transparenten Teile der Dienste als Black-Box angesehen werden. Unabhängig davon, ob die gelieferten Ergebnisse von guter Qualität sind, passiert ein Großteil dieser Arbeit, nämlich die Berechnung der Routen und Reisezeiten, innerhalb dieser Black-Box und kann nicht offengelegt werden.

Trotz der angesprochenen Nachteile überwiegen für diese Arbeit jedoch die Vorteile von Online-Kartendiensten. Details zur Nutzung der Online-Routenplanung sind in Kapitel 2.3.2 und 2.7 beschrieben.

2.3.2 Beförderungszeit

Die Beförderungszeit ist in jeder vorgestellten Definition von Reisezeit (siehe Kapitel 2.2) ein wesentlicher Bestandteil. Sie ist die Zeit vom Betreten bis Verlassen des Fahrzeugs und beim ÖV beinhaltet sie auch die Umsteigezeiten.

Für den Pkw-Verkehr kann die Beförderungszeit unter Verwendung der Online-Kartendienste direkt aus den berechneten, schnellsten Routen abgelesen werden.

Bei der Berechnung der Routen und Beförderungszeiten des ÖV stellt sich die Frage, wie mit unterschiedlichen Routen umgegangen wird, wenn sich die Routen in Beförderungszeit und Umsteighäufigkeit unterscheiden und tageszeitabhängig verfügbar sind. Dafür wird eine Methode empfohlen, die relevante Linienangebote identifiziert und daraus einen Mittelwert bildet. Im städtischen Verkehr wird dafür zunächst jede Beförderungszeit nach folgender Formel gewichtet [1, S. 46f.]:

Formel 1: Gewichtete Beförderungszeit

$$t_G = t_B + UH \cdot 3 \text{ min}$$

t_G	Gewichtete Beförderungszeit
t_B	Beförderungszeit
UH	Umsteigehäufigkeit

Quelle: [1, S. 46f.]

Anschließend wird die kleinste gewichtete Beförderungszeit $t_{G,min}$ benutzt, um die maximale gewichtete Beförderungszeit $t_{G,max}$ zu errechnen:

Formel 2: Maximale gewichtete Beförderungszeit

$$t_{G,max} = t_{G,min} \cdot 1,1 + 5 \text{ min}$$

$t_{G,max}$	Maximale, gewichtete Beförderungszeit
$t_{G,min}$	Minimale, gewichtete Beförderungszeit

Quelle: [1, S. 46f.]

Für die anschließende Berechnung der mittleren Beförderungszeit werden nur Verbindungen gewählt, deren reale Beförderungszeit kleiner ist als die errechnete maximale gewichtete Beförderungszeit [1, S. 46f.]. Online-Kartendienste treffen jedoch selbst bereits eine Auswahl der besten ÖV-Route. Weitere Routenalternativen können teilweise optional berechnet werden, allerdings haben diese Routen höhere Fahrtzeiten oder die Ankunftszeit liegt später in der Zukunft. Online-Kartendienste nutzen also bereits einen eigenen Algorithmus zur Bestimmung von relevanten ÖPNV-Routen. Das Bilden der durchschnittlichen Beförderungszeit der Routenalternativen muss nicht zwangsläufig zu einer realistischen Beförderungszeit führen, da viele ÖV-Nutzer sich vermutlich an der besten ÖPNV-Route orientieren.

Da in dieser Arbeit nicht die Reisezeit auf einzelnen Start-Ziel-Relationen bewertet wird, sondern die Reisezeit eines gesamten Verkehrssystems in einem Untersuchungsgebiet, können durch eine hohe Anzahl von Routen die lokalen Schwankungen der Beförderungszeit ausgeglichen werden. Durch das gleichzeitige Berechnen vieler unterschiedlicher Routen im Untersuchungsgebiet zu einem gleichen Zeitpunkt werden auf einigen Start-Ziel-Relationen eventuell geringere Beförderungszeiten berechnet als im Tagesdurchschnitt, auf anderen Start-Ziel-Relationen dagegen wird die Beförderungszeit höher sein als im Tagesdurchschnitt.

Die Beförderungszeit schwankt stark in Abhängigkeit von der Tageszeit und dem damit verbundenen Verkehrsaufkommen. Die Routen von Pkw-Verkehr und ÖPNV sollten während der Hauptverkehrszeit berechnet werden [1, S. 49], also zum Beispiel um 8 Uhr [16, S. 57]. Der gewählte Tag der Routenberechnung sollte außerdem nicht innerhalb von Schulferien

liegen, da im ÖPNV teilweise abweichende Fahrpläne in den Schulferien gelten. Für die Berechnung der Routen wird als Zeitpunkt Dienstag, 19.09.2017 um Uhr 8 Uhr gewählt.

Der Vergleich der Beförderungszeit von Pkw und ÖPNV ist jedoch schwierig, da die Beförderungszeit verkehrsabhängig ist. Verkehrsabhängige Beförderungszeiten des MIV können von Online-Kartendiensten durch interne Verkehrsmodelle berechnet werden. Auch im ÖPNV gibt es in der Hauptverkehrszeit Abweichungen von Fahrplanzeiten durch Verspätungen. Es gibt es jedoch nur für wenige Städte in Deutschland Echtzeitdaten des ÖPNV in Online-Kartendiensten, um die tatsächliche Beförderungszeit in der Hauptverkehrszeit zu berechnen. Ein Vergleich von verkehrsabhängiger Beförderungszeit des Pkw-Verkehrs mit Fahrtzeiten des ÖPNV aus statischen Fahrplandaten würde also mit unterschiedlichen Voraussetzungen stattfinden und das Ergebnis verfälschen. HERE Maps bietet beim ÖV-Routing die Verwendung historischer Reisezeiten an, die nach eigener Erfahrung deutlich über den Fahrtzeiten des Fahrplans liegen. Es ist jedoch unklar, wie zuverlässig diese Werte sind. Wenig sinnvoll erscheint es, die Reisezeiten im unbelasteten Verkehrsnetz für MIV und ÖPNV zu verwenden, da diese Werte in der Realität selten erreicht werden und nicht repräsentativ für die Hauptverkehrszeit sind.

Um wie geplant den Bus als Verkehrsmittel gesondert vom restlichen ÖPNV und außerdem das Verkehrsmittel Fahrrad betrachten zu können, bieten sich verschiedene Möglichkeiten. Eine Möglichkeit ist, bei der Routensuche nur den Bus als Verkehrsmittel zuzulassen. Dadurch ist die Reisezeit einer Route jedoch womöglich höher, als wenn alle öffentlichen Verkehrsmittel zugelassen sind, da einerseits das Liniennetz dichter ist und andererseits insbesondere Schnellbahnen eine höhere Reisegeschwindigkeit haben. Im Vergleich zum MIV können so die Reisezeiten des Busses deutlich höher liegen. Eine andere Möglichkeit ist, aus den berechneten ÖV-Routen solche zu identifizieren, die nur den Bus verwenden, weil sich damit bereits die schnellste Route ergibt. Mit dieser Methode werden vermutlich keine Busrouten für jede Start-Ziel-Relation gefunden. Ein Vorteil ist, dass sich diese Methode stärker am Interesse eines typischen ÖV-Nutzers orientiert, der aus allen öffentlichen Verkehrsmitteln wählt, um die schnellste Route zu wählen. Es werden also nur Busrouten ausgewählt, auf denen sowieso mit dem Bus gefahren wird, wodurch die zu berechnenden Kennwerte wie Reisezeitverhältnis und Luftliniengeschwindigkeit eine höhere Aussagekraft erhalten.

2.3.3 Anbindungszeiten

Die Anbindungszeiten können in Online-Kartendiensten kaum ermittelt werden. Je nach Verkehrssystem werden jedoch Methoden vorgeschlagen, wie die Anbindungszeiten berechnet werden können, um die komplexe Reisezeit zu erhalten.

Die Anbindungszeit im **Pkw-Verkehr** umfasst die Zugangs-, Abgangs- und Parksuchzeit. Dies sind Zeiten für das Gehen von der Startadresse zum Abstellort des Fahrzeugs beziehungsweise vom Fahrzeug zur Zieladresse und für das Suchen eines Parkplatzes. Die Anbindungszeiten sind stark von Lage und baulicher Struktur des Gebietes abhängig. Mit zunehmender Baudichte kann das Fahrzeug oft nicht in unmittelbarer Nähe des Start- und Zielpunktes abgestellt werden, sodass Fußwege zur Erreichung des Fahrzeugs notwendig sind. Wenn die Parkraumnachfrage regelmäßig das öffentliche Parkraumangebot übersteigt, erhöht sich außerdem die Parksuchzeit [1, S. 47]. Es ist allerdings kein Online-Kartendienst bekannt, der diese Komponenten in der Routenberechnung berücksichtigt.

Allgemeine Werte für die Anbindungszeiten in Abhängigkeit der Gebietscharakteristik und Parkdruck sind in Tabelle 3 dargestellt. Unter Parkdruck ist die Nachfrage nach Parkraum zu verstehen, allerdings wird nicht definiert, was normaler und hoher Parkdruck ist [1, S. 47]. Bei den untersuchten Innenstadtgebieten ist vermutlich von hohem Parkdruck auszugehen.

Tabelle 3: Zugangszeit t_{ZU} , Abgangszeit t_{AB} und Parksuchzeit t_{PS} im Pkw-Verkehr

Gebietscharakteristik	t_{ZU}/t_{AB} [min]	t_{PS} bei normalem Parkdruck [min]	t_{PS} bei hohem Parkdruck [min]
Kernbereich Oberzentrum - Vorrangige Nutzung Einkauf, Erledigung - Kaum Wohnnutzungen	2,5	2,0	4,0
Kernbereich Oberzentrum - Mischnutzung Einkauf, Erledigung, Arbeiten - Geringe Wohnnutzungen	2,0	1,0	3,0
Kernbereich Unterzentrum - Mischnutzung Einkauf, Erledigung, Arbeiten - Mittlere Wohnnutzungen	1,0	1,0	2,0
Innenstadtrandbereich Oberzentrum - Mischnutzung Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Erledigen - Bewohnerparken findet in größerem Umfang im Straßenraum statt.	2,0	2,0	4,0

Quelle: [1, S. 47]

Im **ÖV** besteht die Anbindungszeit ebenfalls aus Zugangs- und Abgangszeit, aber statt der Parksuchzeit wird hier die Wartezeit an der Starthaltestelle hinzugenommen. Die Zu- und Abgangszeiten betragen unabhängig von der Gebietscharakteristik zwischen 3,5 und 5,5 min. Lediglich ein schwacher Zusammenhang zwischen Haltestellendichte und Zu- und Ab-

gangszeiten ist vorhanden [1, S. 47]. Bei unbekannter Haltestellendichte können Orientierungswerte für Zugangs-, Abgangs- und Startwartezeit aus Tabelle 4 übernommen werden. Daraus geht hervor, dass die Abgangszeit pauschal mit 5 min berechnet wird und die Summe aus Zugangs- und Startwartezeit abhängig von der Taktzeit der ÖV-Linien berechnet wird. Die Autoren der Richtlinie für integrierte Netzgestaltung (RIN) machen jedoch keine Angaben über die Herkunft und welche Annahmen der Berechnung zugrunde liegen [1, S. 49].

Tabelle 4: Zugangszeit t_{ZU} , Startwartezeit t_{SW} und Abgangszeit t_{Ab} im ÖV

Takt [min]	$t_{ZU} + t_{SW}$ [min]	t_{Ab} [min]
5	7,0	5,0
10	8,0	5,0
15	9,0	5,0
20	10,0	5,0
30	12,0	5,0
40	14,0	5,0
60	16,0	5,0

Quelle: [1, S. 49]

Um die in den RIN vorgeschlagenen Werte für Anbindungszeiten verwenden zu können, sind also Informationen über die Gebietscharakteristik, Parkdruck und Takt an den Haltestellen erforderlich. Einerseits ist es sehr aufwändig, diese Informationen für eine große Anzahl von Start-Ziel-Relationen zu erhalten und eventuell sind die Informationen fehlerhaft, andererseits sind die vorgeschlagenen Werte sehr pauschal und würden die meisten Reisezeiten um den gleichen Wert erhöhen. So ist beispielsweise bei der Anbindungszeit des Pkw-Verkehrs der Wert von 4 min zu wählen, da in dieser Arbeit nur die Innenstädte von Großstädten mit Oberzentrumfunktion untersucht werden. Beim ÖPNV wird dagegen eine pauschale Abgangszeit von 5 min addiert, obwohl an dieser Stelle die Online-Kartendienste präzisere Zeiten berechnen. Diese Methode führt also nicht zu einer differenzierten Betrachtung der Reisezeiten, sondern erhöht nahezu sämtliche Routen um den gleichen Wert. Die getesteten Online-Kartendienste Google Maps, HERE Maps, Bing Maps und Mapquest berücksichtigen die Zugangszeit von Startadresse bis Starthaltestelle und auch die Abgangszeit von Zielhaltestelle bis Zieladresse. Die Wartezeit an der Starthaltestelle wird jedoch nicht mit einbezogen, da in der Routenbeschreibung die Startzeit an der Startadresse so angegeben wird, dass keine Wartezeit an der Starthaltestelle entsteht.

In dieser Arbeit wird also darauf verzichtet, Anbindungszeiten zu berücksichtigen, um keine Verzerrung der Reisezeiten durch zu allgemein definierte Werte für die Anbindungszeiten

zu erhalten. Die einfache Reisezeit beziehungsweise Fahrtzeit ist so besser zwischen den Verkehrssystemen vergleichbar.

2.3.4 Auswahl geeigneter Start-Ziel-Relationen

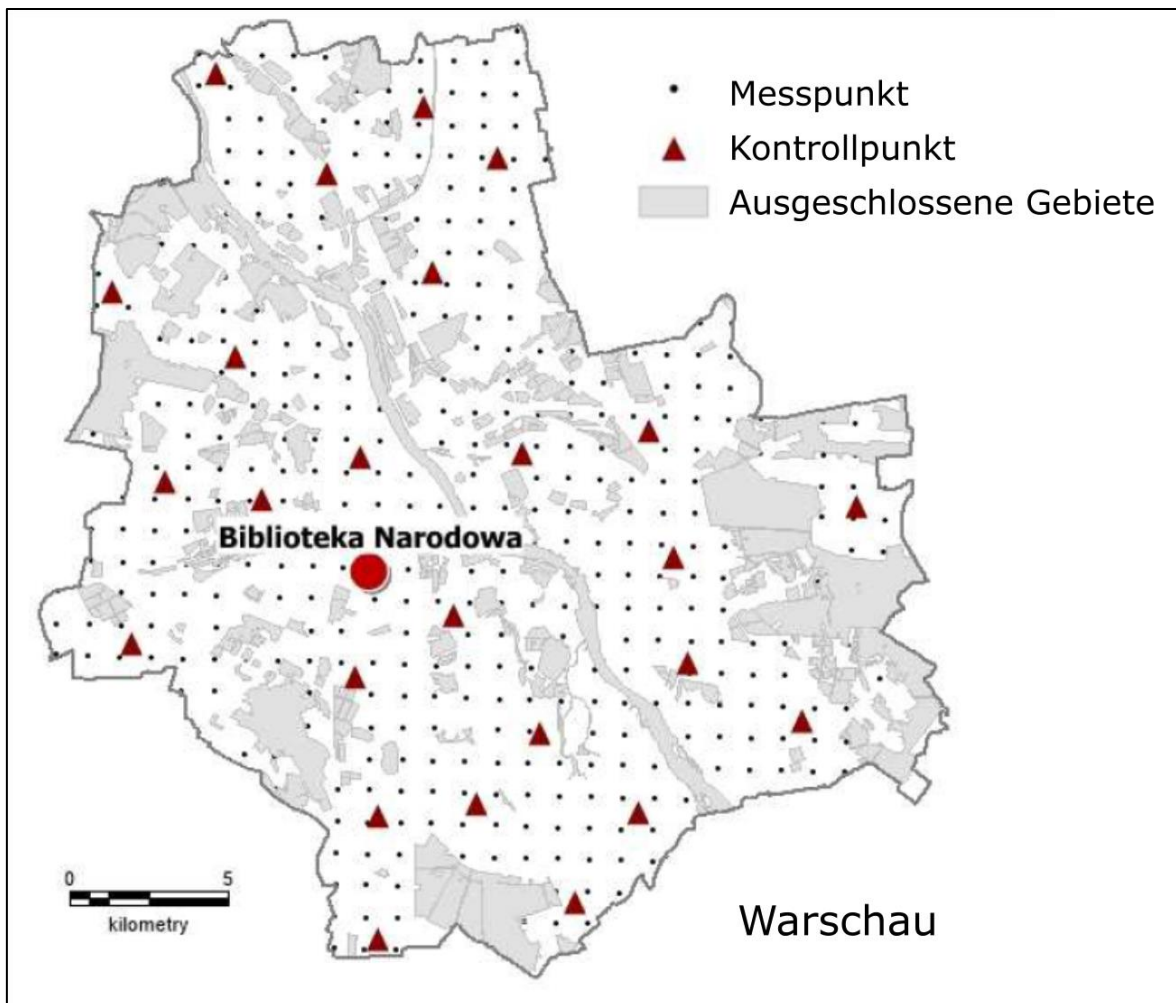
Wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben, kann die Reisezeit in urbanen Räumen durch die Routensuche für eine große Anzahl von Start-Ziel-Relationen ermittelt werden.

Dafür werden zunächst Messpunkte in den Untersuchungsräumen definiert, die als Start und Ziele fungieren können. Bei der Auswahl der Messpunkte und Start-Ziel-Relationen werden berücksichtigt:

- Anzahl der Messpunkte je Untersuchungsraum
- Lage der Messpunkte
- Mindest- und Maximalabstände zwischen Messpunkten
- Art der Netzbildung zwischen den Messpunkten

Eine Möglichkeit ist das Erstellen von Startpunkten und Zielen in regelmäßigen Abständen über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt. Bei einer Erreichbarkeitsanalyse der Nationalbibliothek von Warschau, die 2017 von Pokonieczny, Tomala und Moœcicka an der Technischen Militäarakademie in Warschau durchgeführt wurde, wurden Ziele beziehungsweise Startpunkte für Routen von und zu der Nationalbibliothek auf einem Gitter mit 1000 m Kantenlänge angeordnet (siehe Abbildung 2). Zu den 517 Messpunkten wurden zusätzlich 25 Kontrollpunkte ausgewählt, an denen die Reisezeit manuell überprüft wurde [17, S. 99].

Abbildung 2: Erreichbarkeitsanalyse der Warschauer Nationalbibliothek

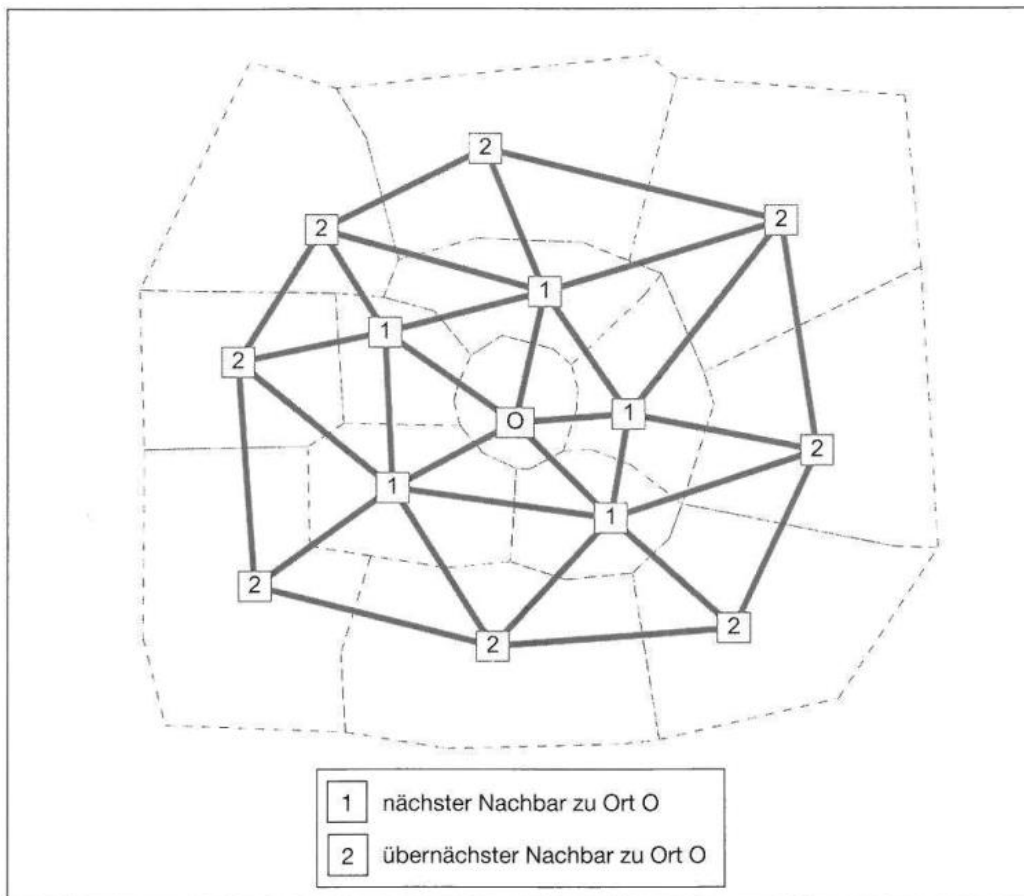


Quelle: nach [17, S. 99]

In einer weiteren Analyse zum Vergleich der Reisezeiten im unbelasteten und belasteten Straßennetz der polnischen Stadt Lodz, die 2016 von Wiśniewski an der Universität Lodz durchgeführt wurde, wurde ein Gitter mit einer Kantenlänge von 100 m gewählt und damit 21.347 Messpunkte erzeugt. Die Reisezeit wurde zwischen jedem dieser Punkte mithilfe der Google Maps API Distance Matrix berechnet, also entsprechend einem vollständigen Netzgraphen [13, S. 96].

In den RIN sind die Startpunkte und Ziele zentrale Orte im Sinne des Systems zentraler Orte. Das System der zentralen Orte weist Orten entsprechend ihrer Bedeutung für das Umland eine Rolle zu. Beispiele sind die Rollen als Oberzentrum und Mittelzentrum [1, S. 9 u. 34]. Es werden also keine Routen mit Start und Ziel innerhalb eines Ortes beziehungsweise einer Kommune betrachtet, wie dies in dieser Arbeit ausschließlich erfolgen soll, sondern die Reisezeit zwischen Kommunen. Die Reisezeiten wurden anschließend auf einem Dreiecksnetz zwischen diesen Orten analysiert (siehe Abbildung 3). Durch diese Netzform schneiden und überlagern sich die analysierten Routen nicht [1, S. 34].

Abbildung 3: Dreiecksnetz zwischen zentralen Orten



Quelle: [1, S. 34]

Je Untersuchungsraum sollte eine ausreichende Anzahl an Messpunkten gewählt werden, damit die Stichprobe an Start-Ziel-Relationen hoch genug ist. Die Auswahl einer großen Anzahl von Startpunkten und Zielen wie in den beschriebenen wissenschaftlichen Arbeiten ist bei 13 Untersuchungsräumen nicht möglich, da zu viele Routenberechnungen durchgeführt werden müssten und die Online-Kartendienste nicht mehr kostenlos genutzt werden könnten (siehe Kapitel 2.4.1). Folglich muss die Betrachtung einer geringen Anzahl an Start- und Zielpunkten erfolgen. Darüber hinaus muss entschieden werden, ob jeder Messpunkt mit jedem anderen Messpunkt als Start-Ziel-Relation betrachtet wird, also als vollständiger Netzgraph, oder ob nur bestimmte Messpunkte in Start-Ziel-Relationen analysiert werden. Da insbesondere in urbanen Räumen durch ein dichtes Straßennetz häufig direkte Routen möglich sind, ohne über einen weiteren Messpunkt zu führen, werden die Start-Ziel-Relationen entsprechend einem vollständigen Netzgraphen untersucht. Als Abstände zwischen den Messpunkten werden ein Mindestabstand von 1 km und ein Maximalabstand von 3 km zwischen Messpunkten gewählt. Außerdem kann bei geringeren Abständen zwischen den Referenzpunkten nicht garantiert werden, dass eine weitere relevante Haltestelle in der Nähe gefunden wird. Damit ergibt sich ein Kompromiss zwischen hoher Anzahl an Routen

und der Möglichkeit der kostenlosen Nutzung der Online-Kartendienste. Die Routen zwischen zwei Referenzpunkten können prinzipiell in zwei Richtungen berechnet werden, also Hin- und Rückweg. Ein Erklärungsansatz könnte darin bestehen, dass unterschiedliche Reisezeiten auf Hin- und Rückweg durch Einbahnstraßen und tageszeitabhängige Hauptverkehrsrichtungen entstehen. Durch die hohe Anzahl von Routen in den Untersuchungsräumen wird davon ausgegangen, dass die Untersuchung bereits bei Ermittlung des einfachen Weges die Reisezeiten gut widerspiegelt.

Da Anbindungszeiten nicht berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.3.3), werden die Startpunkte und Ziele so ausgewählt, dass mithilfe der Online-Kartendienste nur die Fahrtzeit berechnet wird.

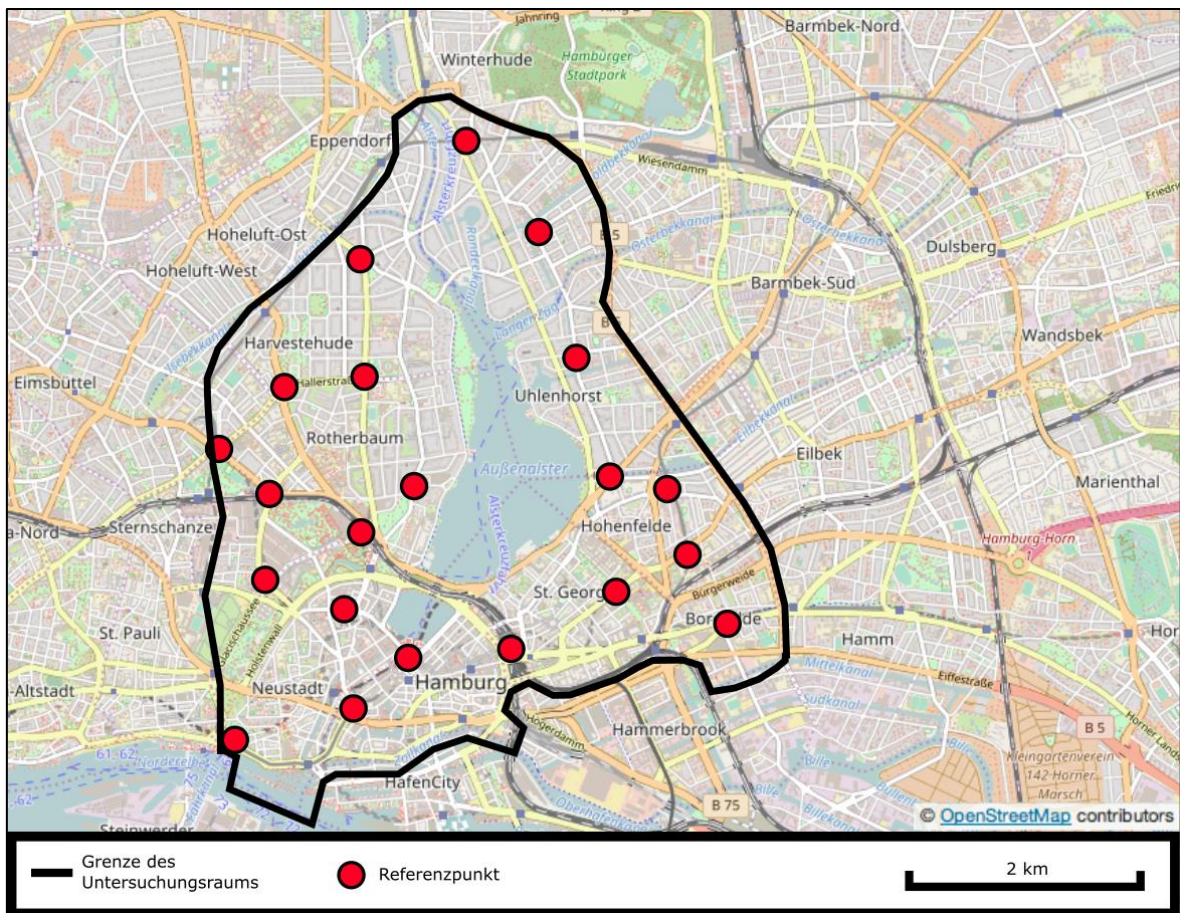
Für die Wahl der Positionen der Referenzpunkte wird erläutert, wie die betrachteten Online-Kartendienste die Start- und Zielpunkte in die Routenberechnung einbeziehen.

Im Pkw-Verkehr werden Start- und Zielpunkt einer Route automatisch dem nächsten Punkt auf der nächsten Straße zugeordnet. Eine Berechnung des Fußwegs von Startpunkt bis Erreichen der Straße, ab der das Fahrzeug benutzt werden kann, erfolgt nicht in den betrachteten Online-Kartendiensten. Theoretisch könnten die Referenzpunkte also auch abseits von Straßen liegen und die Routenberechnung erfolgt entsprechend vom nächsten Punkt auf dem Straßennetz.

Bei Routen des ÖPNV wird der Fußweg von Startpunkt bis Starthaltestelle mitberechnet. Um bei beiden Verkehrssystemen nur die Fahrtzeit zu berechnen, werden die Start- und Zielpunkte an Haltestellen gelegt. Damit ergibt sich theoretisch eine Anbindungszeit von jeweils 0 min im ÖPNV und im Pkw-Verkehr wird ohnehin keine Anbindungszeit berechnet.

Die Start- und Zielpunkte der zu untersuchenden Strecken werden im Folgenden Referenzpunkte genannt. Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Referenzpunkte im Untersuchungsraum der Stadt Hamburg. Hier wurden 21 Referenzpunkte gewählt. Weitere Darstellungen der Referenzpunkte für die anderen Städte befinden sich im Anhang.

Abbildung 4: Referenzpunkte in Hamburg



Quelle: [18]

2.4 Wahl eines dynamischen Online-Kartendienstes

2.4.1 Vergleich von Online-Kartendiensten

Die Wahl des Online-Kartendienstes kann das Forschungsergebnis beeinflussen, da die Anbieter verschiedene Routen berechnen. Es gibt zurzeit verschiedene Online-Kartendienste, die für eine Routenberechnung infrage kommen. Beispiele sind: Google Maps, HERE Maps, Bing Maps und Mapquest. Meist unterliegt die Nutzung dieser Dienste Einschränkungen in Bezug auf die Anzahl kostenfreier Routenberechnungen beziehungsweise Anfragen an den Server und schließt bestimmte Nutzungen wie zum Beispiel die gewerbliche Verwendung der Daten aus.

Aus einem Vergleich der Funktionen verschiedener Online-Kartendienste (siehe Tabelle 5) ergibt sich, dass nicht jeder Online-Kartendienst für die Bearbeitung der Aufgabenstellung geeignet ist. Unter den betrachteten Diensten weist Bing Maps die größte Anzahl kostenloser Anfragen auf, jedoch erlauben auch die anderen drei Anbieter eine große Anzahl kostenloser Anfragen. Durch die ausgewählten Referenzpunkte in den Untersuchungsräumen

ergeben sich 1.833 Start-Ziel-Relationen, die für jedes Verkehrssystem, also dreimal, berechnet werden. Damit ergeben sich insgesamt 5.499 zu berechnende Routen. Bei dieser Anzahl von Routen können prinzipiell alle vier Online-Kartendienste gewählt werden.

Alle vier Online-Kartendienste bieten Routenberechnung sowohl für den Pkw-Verkehr als auch den ÖV an, teilweise unter Einbeziehung von Echtzeitdaten, das heißt Informationen über höhere Reisezeiten durch hohes Verkehrsaufkommen und Verspätungen im öffentlichen Verkehr. Während keine Aussage über die Qualität des Pkw-Routings gemacht werden kann, lassen sich bei der Abdeckung des ÖV-Routings Unterschiede feststellen. Außer Mapquest veröffentlichen die Online-Kartendienste auf ihren Internetseiten Listen von Einrichtungen, deren Fahrplandaten zur Verfügung stehen. Daraus ergibt sich, dass HERE Maps die meisten ÖPNV-Fahrpläne integriert hat, während Bing Maps über sehr wenige Fahrplandaten verfügt. Sowohl Google Maps als auch HERE Maps besitzen Fahrplandaten für alle 13 Untersuchungsräume. Echtzeitdaten für den ÖPNV liegen jedoch auch bei Google und HERE Maps nur für sehr wenige Städte beziehungsweise Verkehrsverbünde vor.

Darüber hinaus verfügen Mapquest und Bing Maps über keine eigene Datengrundlage für das Straßennetz, sondern nutzen die Daten von HERE Maps [19, S. 2].

Ein Vorteil von HERE Maps gegenüber Google Maps ist, dass bei der Routenberechnung gewählt werden kann, ob die schnellste oder die kürzeste Route berechnet wird. Bei Google Maps ist eine differenzierte Routenberechnung nach schnellster oder kürzester Route nicht möglich. Google Maps verwendet für die Berechnung der besten Route vermutlich sowohl beim MIV als auch beim ÖV interne weitere Kriterien, um einen Kompromiss zwischen Zeitaufwand und Entfernung zu finden, die nicht jedoch offengelegt sind.

Trotz ähnlicher Funktionen der Online-Kartendienste gibt es weitere Unterschiede im Detail, wie zum Beispiel in den berechneten Routen, die ausschlaggebend sein können, Google Maps statt HERE Maps zu verwenden.

Tabelle 5: Vergleich von Routing APIs. Stand: Juni 2017

Anbieter	Google Maps	HERE Maps	Mapquest	Bing Maps
Kostenlose Anfragen	2.500 pro Tag	100.000* pro Monat	15.000 pro Monat	50.000 pro Tag
Pkw	Ja	Ja	Ja	Ja
Echtzeitdaten	Ja	Ja	Ja	Ja
ÖPNV	Ja	Ja	Ja	Ja
Abdeckung	Gut	Gut	Unbekannt	gering
nur Bus	Ja	Ja	nein	nein
Echtzeitdaten	Teilweise	Teilweise	nein	ja
Fahrrad	Ja	Ja	ja	Nein
Straßennetz	Google	HERE	HERE	HERE

*90 Tage Testzugang

Quellen:

Grundlage Straßennetz: [19, S. 2]

Google: [20], [21],

HERE: [22], [23],

Mapquest: [24], [25],

Bing: [26], [27],

Verschiedene Routen können mehrere Ursachen haben: Die verwendeten Algorithmen zur Routensuche, aber auch die zugrunde liegenden Kartendaten beeinflussen, welche Route berechnet wird [19, S. 1]. In einem Vergleich von Bing Maps, Google Maps und Mapquest wurden anhand von 3.160 Start-Ziel-Relationen in der Stadt Pittsburgh die berechneten Pkw-Routen und die Genauigkeit der Kartendaten gegenübergestellt [19, S. 5].

Die berechneten Pkw-Routen wurden mit einem mathematischen Verfahren anhand ihres geometrischen Verlaufs verglichen und auf Ähnlichkeit geprüft. Wenn nach dem Kriterium schnellste Route gesucht wird, sind ca. 63 % der Routen aller Anbieter gleich. Bei den kürzesten Routen sind es dagegen nur ca. 56 %. Zum Vergleich der Reisezeiten von Google Maps (8,02 min), Bing Maps (8,75 min) und Mapquest (8,83 min) wurde ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt, da die Reisezeiten laut einem Chi-Quadrat-Test nicht normalverteilt waren. Der Kruskal-Wallis-Test mit einem Konfidenzniveau von 95 % ergab, dass sich die Reisezeiten zwischen Google Maps und den anderen Anbietern signifikant unterscheiden, zwischen Bing Maps und Mapquest jedoch nicht. [19, S. 5ff.]

Wenn die Routen aufgrund ihres Verlaufs als unterschiedlich eingestuft werden, kann auch durch den Kruskal-Wallis-Test mit einem Konfidenzniveau von 95 % kein signifikanter Unterschied in Reisezeit, Routenlänge und weiteren Routeneigenschaften wie Anzahl an Lichtsignalanlagen festgestellt werden [19, S. 9]. Dennoch ist Tabelle 6 zu entnehmen, dass sich insbesondere bei den schnellsten Routen (DF) die Durchschnittswerte der Reisezeit und Routenlänge je Anbieter nur gering unterscheiden.

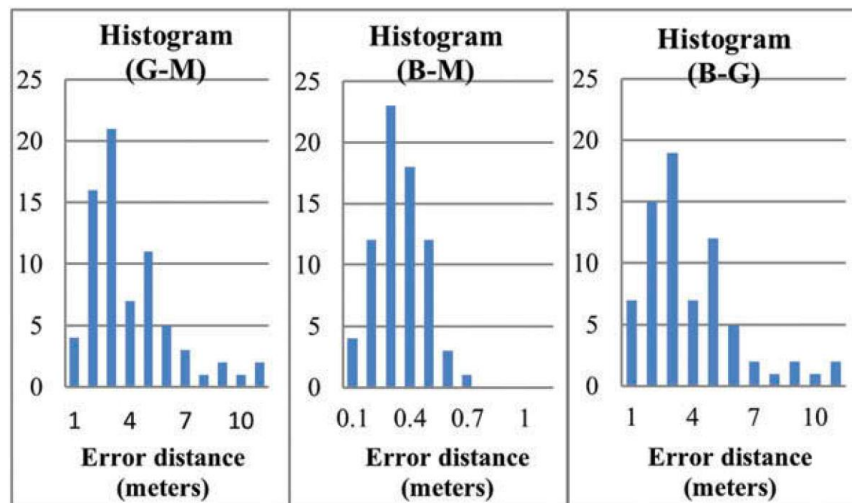
Tabelle 6: Routeneigenschaften bei unterschiedlichen Routen nach dem Kriterium kürzeste Route (DS) und schnellste Route (DF) von Google Maps (G), Bing Maps (B) und Mapquest (M)

Attributes (average values)	B	G	M	Range (%)
DS				
Distance [km]	8,57	9,33	8,96	8,5
Duration [min]	18,41	14,57	15,37	23,8
Speed [km/h]	27,67	38,14	34,92	31,2
Number of traffic lights	20,09	16,09	17,18	22,5
Traffic lights/km	2,32	1,83	2,01	23,9
DF				
Distance [km]	9,71	9,90	9,43	4,9
Duration [min]	14,05	13,87	15,05	8,2
Speed [km/h]	41,03	41,68	37,29	11,0
Number of traffic lights	15,86	12,52	18,15	36,3
Traffic lights/km	1,72	1,36	2,02	36,2

Quelle: [19, S. 9]

Um die Genauigkeit des Kartenmaterials zu analysieren, wurden die Koordinaten von 80 ausgewählten Knotenpunkten verglichen. Eine Referenz zu den „echten“ Koordinaten der Knotenpunkte gab es nicht, stattdessen wurden die Koordinaten in den Kartendaten der Anbieter untereinander verglichen. Die Koordinaten von Google Maps unterschieden sich dabei durchschnittlich um ca. 3 m von Bing Maps und Mapquest, welche sich mit einer durchschnittlichen Abweichung von ca. 0,5 m stärker ähnelten [19, S. 5f]. Insgesamt weichen die Koordinaten der drei Anbieter jedoch wenig voneinander ab [19, S. 10].

Abbildung 5: Abweichungen zwischen Koordinaten von Google Maps (G), Bing Maps (B) und Mapquest (M)



Quelle: [19, S. 6]

Aus diesem Vergleich der Online-Kartendienste in der Literatur lässt sich herleiten, dass die vorhandenen Unterschiede in der Routenberechnung für den Pkw-Verkehr und in der Qualität des Kartenmaterials vermutlich nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis dieser Untersuchung haben. Die Abweichungen der Reisezeiten und Routenlängen waren in diesem städtischen Szenario nur gering. Darüber hinaus geht aus diesem Vergleich nicht hervor, welcher Online-Kartendienst bessere Ergebnisse bei der Routenberechnung liefert.

Daher wurden sowohl mit Google Maps als auch mit HERE Maps zu Testzwecken einige Routen berechnet.

2.4.2 Erfahrungen mit Google Maps

Die Google Maps API Directions gibt eine Routenbeschreibung für einen gewählten Start- und Zielpunkt. Diese kann für die Verkehrsmittel Pkw, ÖV, Fahrrad und zu Fuß durchgeführt werden [20].

Bei einem Vergleich von Google Maps mit dem Geoinformationssystem (GIS) ArcGIS zeigte sich, dass ähnliche Routen berechnet werden, die Reisezeiten sich jedoch stark unterscheiden. Zusätzlich verfügt Google Maps über ein Verkehrsmodell, das dynamische Reisezeiten zu unterschiedlichen Tageszeiten berechnet [14, S. 203].

In der Literatur wurden Probleme bei der Verwendung der Google Maps API dokumentiert. Es kam teilweise zu unerwarteten Fehlern in der Serverantwort, sodass Anfragen nicht bearbeitet wurden [14, S. 206]. Bei eigenen Routenanfragen zu Testzwecken ist aufgefallen, dass die Routen für den ÖPNV in wenigen Fällen fehlerhaft sein können. In einigen Fällen wurde eine Reisezeit von 0 min angegeben, in anderen Fällen von mehreren Jahren. Bei manchen

Umstiegen lag die Abfahrtszeit des nächsten Verkehrsmittels noch vor der Ankunftszeit des ersten Verkehrsmittels, sodass der Umstieg nicht erfolgreich sein kann, die Route jedoch eine insgesamt geringe Reisezeit aufweist. Diese offensichtlich unbrauchbaren, da unplausibel erscheinenden Routen, können nachträglich durch entsprechende Filter erkannt und entfernt werden. Diese Fehler wurden nur beobachtet, wenn Echtzeitdaten über Verspätungen der Verkehrsmittel vorlagen. Da für die Routensuche ein Termin in der Zukunft gewählt wird, liegen noch keine Echtzeitdaten vor und Fehler beim ÖV-Routing werden nicht erwartet.

Auch in einer weiteren Erreichbarkeitsanalyse für den ÖPNV in Warschau wurden bei der Google Maps API unerklärbare, punktartige Abweichungen von bis zu 25 min gegenüber dem polnischen Online-Kartendienst jakdojade.pl festgestellt, obwohl beide Dienste ihre Fahrplandaten von derselben Quelle beziehen. Es konnte jedoch keine Aussage darüber gemacht werden, welcher Dienst die besseren ÖV-Routen berechnet [17, S. 98 u. 104f.].

Fraglich bleibt, ob es nicht zu weiteren Fehlern bei der Routenwahl im ÖV kommen kann, die weniger offensichtlich sind, aber das Ergebnis dieser Untersuchung beeinflussen.

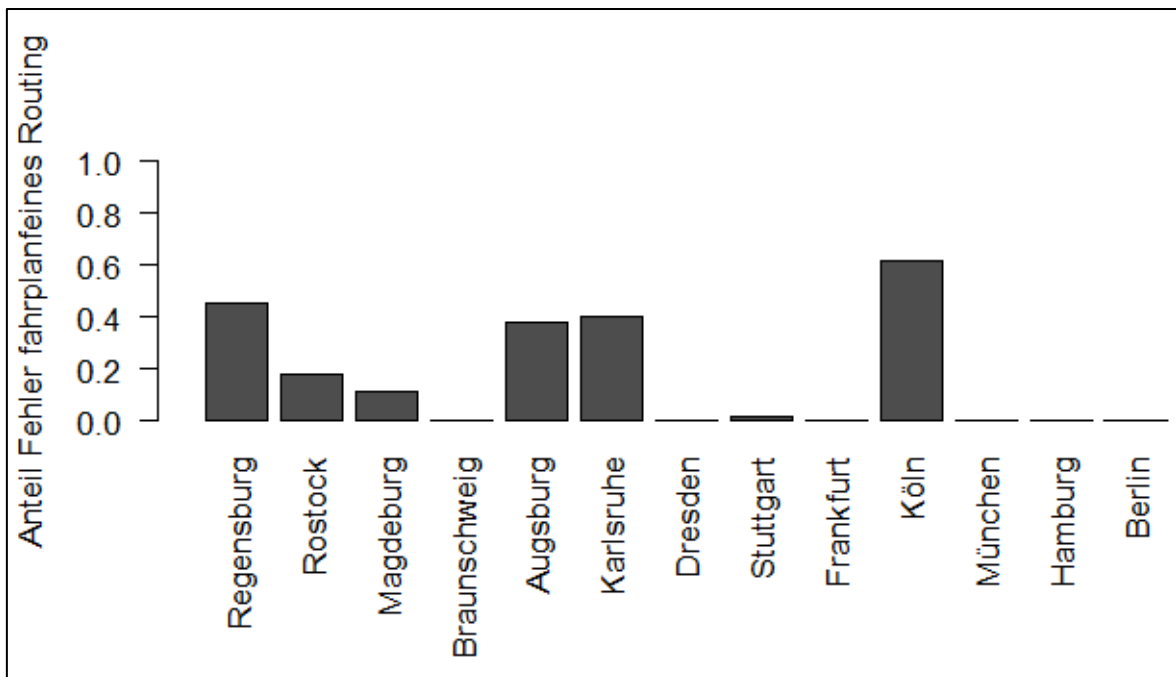
2.4.3 Erfahrungen mit HERE Maps

Auch beim Testen der HERE Maps API kam es beim ÖV-Routing zu Unregelmäßigkeiten. HERE Maps bietet grundsätzlich zwei Varianten des ÖV-Routings an: Fahrplanfeines und geschätztes Routing. Beim fahrplanfeinen Routing werden die Fahrplandaten von Verkehrsunternehmen verwendet. Geschätztes Routing basiert auf historischen Daten, die HERE Maps vorliegen [22]. In beiden Fällen werden ÖV-Linien angegeben, die Reisezeiten unterscheiden sich jedoch.

Bei Nutzung der fahrplanfeinen Routensuche konnten teilweise keine Routen gefunden werden. Diese Beobachtung bündelte sich in den Städten Regensburg, Rostock, Magdeburg, Augsburg, Karlsruhe und Köln, wie Abbildung 6 zeigt. Bei Verwendung der Routensuche im Browser über die Website von HERE Maps konnten jedoch ÖV-Routen gefunden werden. Der Fehler in der API konnte in den meisten Fällen nur dadurch behoben werden, dass statt fahrplanfeinem Routing das geschätzte Routing verwendet wurde und gleichzeitig der optionale Parameter für die maximale Länge eines Fußwegs auf den Maximalwert von 6 km gesetzt wurde. Die zuvor fehlerhaften Routen werden mit diesen Parameterveränderungen als Fußweg zurückgelegt. Abbildung 7 zeigt den Anteil der ÖV-Routen, die nur aus Fußwegen bestehen. Ein visueller Vergleich der beiden Abbildungen lässt einen Zusammenhang zwischen Fehlern beim ÖV-Routing und dem Anteil von Fußwegen erkennen. Auch bei Google Maps kam es in denselben Städten zu erhöhten Fußweganteilen, allerdings ist laut der Google Dokumentation ein ÖV-Routing in diesen Städten nicht verfügbar. Die

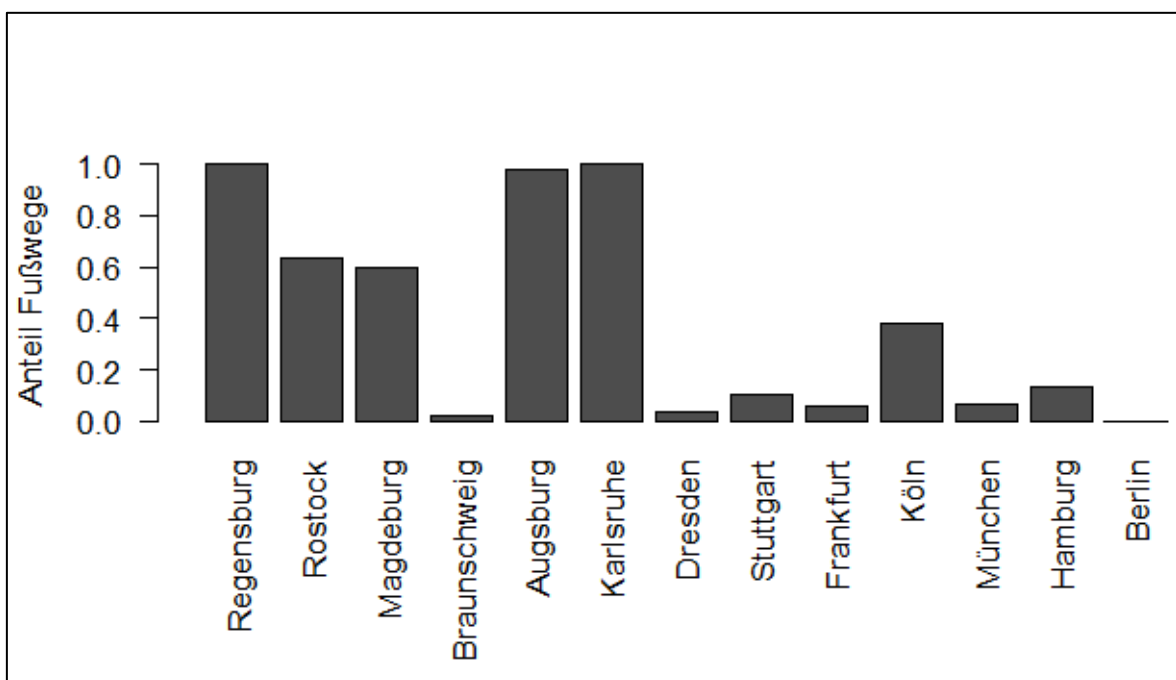
ÖV-Routen, die dennoch in den Städten ohne ÖV-Routingunterstützung gefunden wurden, bestehen aus S-Bahnverbindungen. Da die S-Bahnen häufig einen anderen Betreiber haben als der restliche ÖPNV einer Stadt, stammen auch die Fahrplandaten von unterschiedlichen Unternehmen, wodurch eventuell das Routing mittels S-Bahn möglich ist. Es wird vermutet, dass aus lizenzrechtlichen Gründen in einigen Städten die ÖV-Routensuche bei HERE Maps nicht über die API möglich ist, dies jedoch in der Dokumentation nicht aufgeführt ist.

Abbildung 6: Vorkommen von Fehler „no route found“ im ÖV-Routing von HERE Maps



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 7: ÖV-Routen aus HERE Maps, die nur aus Fußwegen bestehen



Quelle: Eigene Darstellung

2.4.4 Zwischenfazit

Die HERE Maps API zur Routensuche ist deutlich anpassungsfähiger und umfangreicher als die API von Google. Die laut Dokumentation hohe Abdeckung von Städten mit ÖV-Routing

konnte jedoch bei der Nutzung der API nicht bestätigt werden. Da eine Auswertung der Reisezeiten wenig sinnvoll erscheint, wenn in fünf von 13 Städten die ÖV-Routen überwiegend aus Fußwegen bestehen, werden neue Städte ausgewählt, die laut Google Dokumentation das ÖV-Routing unterstützen. Für die Routenberechnung werden beide Kartendienste verwendet, um einen ersten Vergleich der Ergebnisse vornehmen zu können. Die Auswertung der Reisezeiten basiert jedoch auf den Daten von Google Maps, da unklar ist, ob alle neu gewählten Städte von HERE Maps im ÖV-Routing unterstützt werden.

2.5 Bewertung der Reisezeit

Eine Bewertung der Reisezeit findet in den RIN statt, um die verbindungsbezogene Angebotsqualität des Verkehrssystems zu bewerten. Dafür werden relevante Kriterien und zugehörige Kennwerte ermittelt, die in eine Bewertungsskala eingestuft werden. Die Reisezeit wird dabei benötigt, um Kennwerte des Zeitaufwands zu berechnen, welcher das wichtigste Kriterium zur Bewertung der Angebotsqualität ist. Für die anschließende Einstufung der Kennwerte in eine Bewertungsskala werden keine allgemein gültigen Qualitätsvorgaben für die relevanten Kriterien vorgegeben, da letztlich die jeweiligen Entscheidungsträger dafür zuständig sind. Es werden jedoch Orientierungswerte und Methoden zur Erstellung einer Bewertungsskala erläutert [1, S. 19]. Bei der Bewertung der Reisezeit handelt es sich also um einen wesentlichen Teil der Bewertung der Angebotsqualität.

2.5.1 Kenngrößen

Aus Nutzersicht ist das entscheidende Kriterium zur Bewertung der Angebotsqualität der verbindungsbezogene Zeitaufwand [1, S. 19].

Für die Bewertung der ermittelten Reisezeiten ist es erforderlich, weitere Kennwerte heranzuziehen, um die Reisezeit in Verhältnis zum zurückgelegten Weg zu setzen und untereinander vergleichbar zu machen. Darüber hinaus können Reisezeiten innerhalb eines Verkehrssystems, aber auch zwischen Verkehrssystemen verglichen werden.

In den RIN wird die Reisezeit stellvertretend für den Zeitaufwand einer Verbindung bewertet und die Luftliniengeschwindigkeit und das Reisezeitverhältnis als Kenngrößen vorgeschlagen. Sämtliche vorgeschlagenen Kriterien beurteilen die Angebotsqualität aus Sicht der Nutzer [1, S. 19].

Die **Luftliniengeschwindigkeit** ist der Quotient von Luftlinienentfernung und Reisezeit. Dabei wird also implizit die zurückgelegte Entfernung berücksichtigt, wodurch sich Reisezeiten auf Verbindungen unterschiedlicher Entfernung vergleichen lassen [1, S. 21].

Das **Reisezeitverhältnis** ist der Quotient der Reisezeiten unterschiedlicher Verkehrssysteme und sollte im Rahmen einer integrierten Verkehrsplanung ermittelt werden, um konkurrierende Verkehrssysteme zu vergleichen [1, S. 21]. Das Reisezeitverhältnis kann Hinweise auf den Modal Split und das Verkehrsverlagerungspotenzial geben. Das Verhältnis kann auch als politisch festgelegte Mindestanforderung oder Ziel formuliert werden. In diesem Kennwert spiegeln sich sowohl Restriktionen beim MIV als auch Qualitätssteigerungen im ÖPNV wider [28, S. 23].

Zusätzlich zum Zeitaufwand kann die Direktheit der Verbindung bestimmt werden, falls die Bewertung des Zeitaufwands schlecht ausfällt, um die Gründe der Bewertung zu erklären. Die Direktheit wird im Umwegfaktor und der Umsteigehäufigkeit gemessen [1, S. 21].

Der **Umwegfaktor** ist der Quotient aus Reiseweite und Luftlinienentfernung zwischen Quell- und Zielort. Mit zunehmender Entfernung wird die Bedeutung des Umwegfaktors größer. Ein hoher Zeitaufwand und akzeptabler Umwegfaktor bedeuten eine niedrige Fahrgeschwindigkeit im Verkehrsnetz. Bei hohem Zeitaufwand und hohem Umwegfaktor fehlen direkte Verbindungen zwischen Quell- und Zielort [1, S. 21].

Im ÖV kann zusätzlich zum Umwegfaktor die **Umsteigehäufigkeit** bestimmt werden. Sie ist die Anzahl der Verkehrsmittelwechsel während der Fahrt, d.h. Ein- und Ausstieg in das erste beziehungsweise aus dem letzten Fahrzeug werden nicht mitgezählt. Die Kennwerte der Umsteigehäufigkeit können auch nicht ganzzahlige Werte beinhalten, sobald mehrere Umsteigehäufigkeiten zum Beispiel über den Tagesverlauf aggregiert werden [1, S. 21].

Da der Zeitaufwand das wesentliche Kriterium zur Beschreibung der Angebotsqualität ist, ist die Luftliniengeschwindigkeit die dafür am besten geeignete Kenngröße. Für einen direkten Vergleich zwischen ÖV und Pkw-Verkehr ist das Reisezeitverhältnis heranzuziehen. Die Kriterien Umwegfaktor und Umsteigehäufigkeit sollen nur ergänzend verwendet werden, um schlechte Bewertungen der Luftliniengeschwindigkeit besser erklären zu können [1, S. 19]. Die Kenngrößen Luftliniengeschwindigkeit und Reisezeitverhältnis sollten daher in der Auswertung enthalten sein. Mit dem Umwegfaktor ist für alle zu betrachtenden Verkehrssysteme eine weitere Kenngröße gegeben, die für weitere Erklärungen hinzugezogen werden kann und auch in die Auswertung einbezogen wird. Die Erklärungskraft des Umwegfaktors ist allerdings eingeschränkt, denn sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Umwegfaktoren können niedrige Reisezeiten erreicht werden, wenn die Verkehrsinfrastruktur beispielsweise eine hohe Fahrgeschwindigkeit im Pkw-Verkehr zulässt. Auch die Umsteigehäufigkeit erlaubt keinen direkten Rückschluss auf die Qualität der Reisezeit, da niedrigere Reisezeiten auch bei ÖV-Routen erreicht werden können, die viele Umstiege haben, aber wenig Umsteigezeit haben. Als ergänzend erklärendes Kriterium wird daher nur die Umsteigezeit in die Auswertung miteinbezogen.

Für die weitere Bewertung der Qualität eines Verkehrssystems können darüber hinaus die Kriterien Direktheit, Sicherheit, Kosten, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Komfort herangezogen werden, deren Ermittlung jedoch teilweise auf Schwierigkeiten stößt [1, S. 19].

In den RIN wird eine Bewertungsskala mit sechs Stufen vorgeschlagen, in die die Kennwerte eingeordnet werden (siehe Tabelle 7). Durch die Vereinheitlichung der Bewertung können unterschiedliche Kenngrößen miteinander verglichen werden, was Entscheidungsträgern die Festlegung von Qualitätsvorgaben für die Angebotsqualität erleichtert. Die Stufen der Angebotsqualität hängen von der Luftlinienentfernung ab, sodass die Ansprüche an die Angebotsqualität sich mit der Entfernung ändern. Bei zunehmender Luftlinienentfernung steigen die Ansprüche an die Geschwindigkeit und Umsteigehäufigkeit. [1, S. 20]

Tabelle 7: Stufen der Angebotsqualität (SAQ)

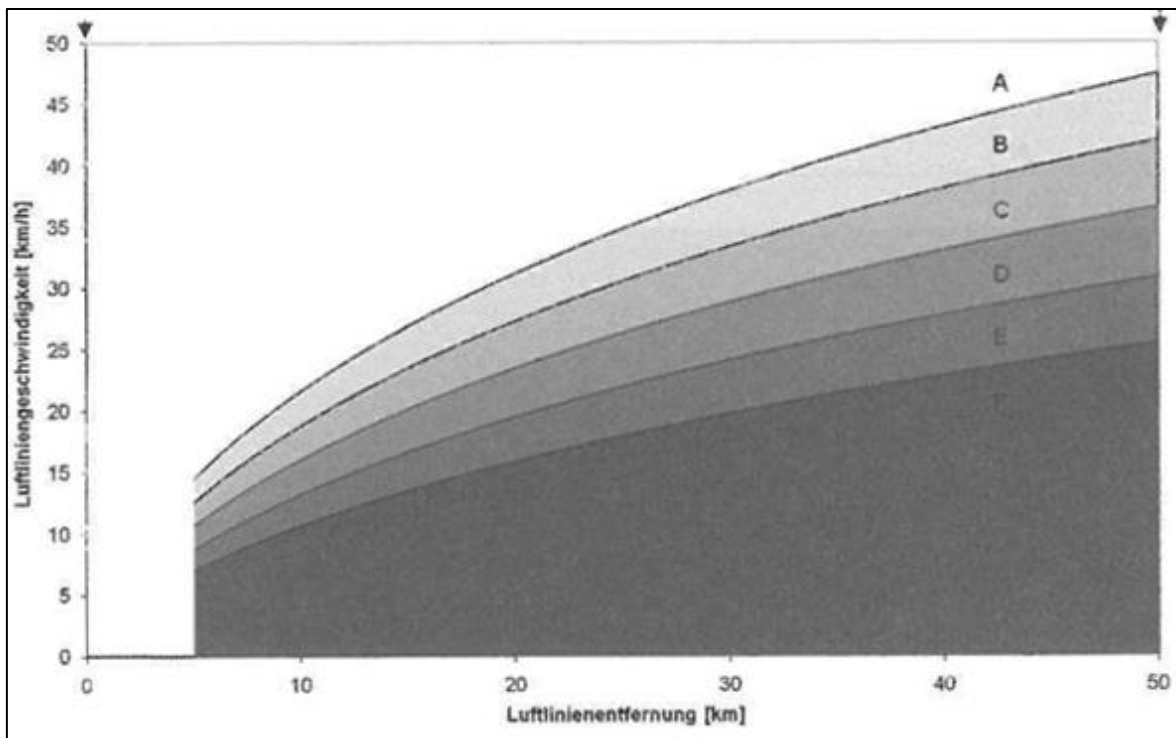
SAQ	Beschreibung
A	sehr gute Qualität
B	gute Qualität
C	befriedigende Qualität
D	ausreichende Qualität
E	mangelhafte Qualität
F	unzureichende Qualität

Quelle: [1, S. 20]

Für die Einordnung der Kennwerte in die Stufen der Angebotsqualität werden in den RIN Orientierungswerte vorgestellt, die als erster Anhaltspunkt genutzt werden können [1, S. 42]. Die Grundlage der Orientierungswerte für die Bewertungsskala in den RIN bilden ca. 9.600 Reisezeiten für den Pkw-Verkehr und öffentlichen Personenverkehr. Aus dem Verkehrsmodell Deutschland wurden 1.650 Relationen der Verbindungsfunktionsstufen 0 bis I (kontinental bis großräumig) analysiert, die auf Daten von 2002 und 2005 beruhen. Insgesamt gibt es die sechs Verbindungsfunktionsstufen kontinental, großräumig, überregional, regional, nahräumig und kleinräumig. Die verbleibenden 7.950 Relationen kamen vom Verkehrsmodell der Region Stuttgart, haben die Verbindungsfunktionsstufen II bis IV (überregional bis nahräumig) und beruhen auf Daten der Jahre 2004 und 2005 [1, S. 49].

Die Orientierungswerte je Kennwert und Verkehrssystem sind in Diagrammen dargestellt, die die einzelnen Stufen der Angebotsqualität als Kurven zeigen. Beispielhaft ist in Abbildung 8 die Luftliniengeschwindigkeit des Pkw-Verkehr in Abhängigkeit der Luftlinienentfernung zu sehen. Die Orientierungswerte sind verfügbar ab 5 km Luftlinienentfernung zwischen Start und Ziel und sind in weiteren Diagrammen für Entfernungen bis 500 km erstellt worden [1, S. 42 f.]. Die untersuchten Routen in den RIN sind damit deutlich länger als die zu erwartenden Routen innerhalb urbaner Räume, die in dieser Arbeit untersucht werden.

Abbildung 8: Qualitätsstufen für die Luftliniengeschwindigkeit im Pkw-Verkehr



Quelle: [1, S. 43]

2.5.2 Herleitung von Qualitätsstufen

Um die Grenzen zwischen den Stufen der Angebotsqualität zu bestimmen, wurde je Kenngröße eine Regressionskurve berechnet, die als Ausgangspunkt dient und meist die Grenze zwischen den Stufen B und C bildet. Die weiteren Grenzen wurden so gewählt, dass die Abstände zwischen den Stufen gleichmäßig sind. Teilweise fehlten jedoch Fahrplandaten über Verbindungen im ÖPNV, sodass fehlende Werte für die Beförderungszeit und die Umsteigehäufigkeit geschätzt werden mussten [1, S. 50 u. 53]. Daher ist es wichtig, die ermittelten Werte und Regressionskurven nur als ersten Anhaltspunkt beziehungsweise grobe Orientierungswerte zu sehen.

Die Werte der **Luftliniengeschwindigkeit** wurden für die Regression gewichtet, um die unterschiedliche Besetzung der Entfernungsklassen zu berücksichtigen. Eine Beschreibung zur Bildung der Gewichte für die Entfernungsklassen liegt nicht vor [1, S. 50]. In Kapitel 3.1 wird daher eine eigene Gewichtung der Werte erläutert. 80 % der Werte liegen im Bereich der Stufen A bis C und 20 % im Bereich D bis F. Bei den Luftliniengeschwindigkeiten im ÖV liegen knapp 60 % der Werte innerhalb der Stufen A bis C und die restlichen 40 % im Bereich D bis F. Für den Vergleich der Luftliniengeschwindigkeiten von Pkw-Verkehr und ÖV wurde eine gemeinsame Regressionskurve mit den Werten beider Verkehrsmittel als Datengrundlage gebildet. Im Bereich der Stufen A bis C liegen hier über 90 % der Werte des Pkw-

Verkehrs, allerdings nur 45 % der Werte des ÖV. Abbildung 8 zeigt die Kennwerte der Luftliniengeschwindigkeit und der Regressionskurven exemplarisch für den Pkw-Verkehr [1, S. 50]. Die verwendete Formel für die Regressionskurven ist:

Formel 3: Regressionskurve der Luftliniengeschwindigkeit

$$V_{L,SAQ}(I_L) = \frac{1}{a \cdot I_L^b + c}$$

$V_{L,SAQ}$

Luftliniengeschwindigkeit [km/h] einer SAQ-Kurve

I_L

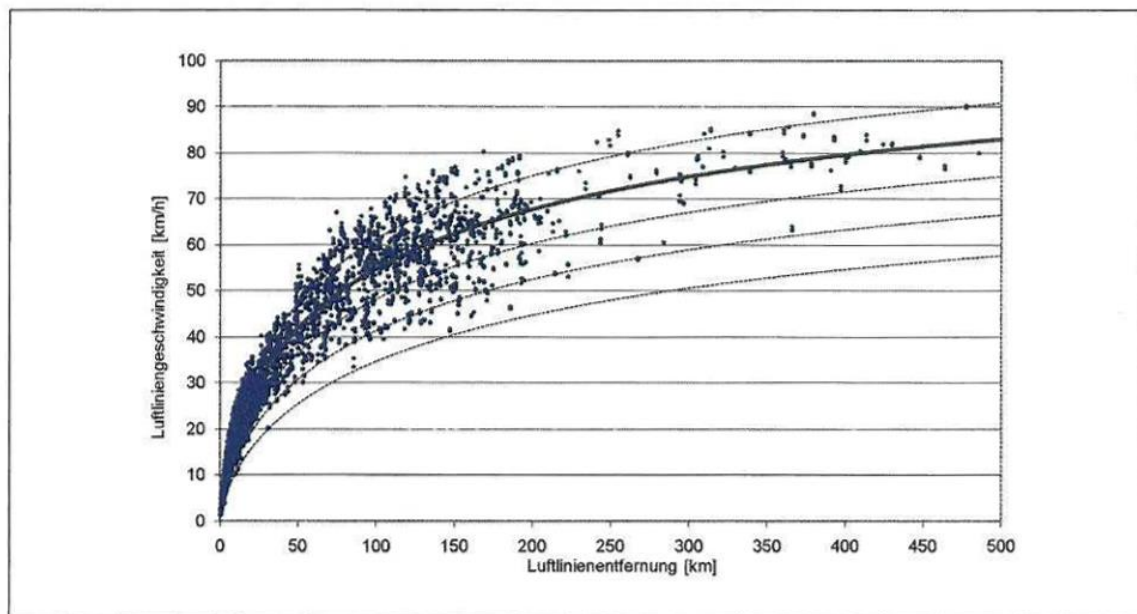
Luftlinienentfernung [km] zwischen Start- und Zielpunkt

a, b, c

Parameter

Quelle: [1, S. 51]

Abbildung 9: Kennwerte der Luftliniengeschwindigkeit für den Pkw-Verkehr und resultierende Regressionskurve



Quelle: [1, S. 51]

Für das **Reisezeitverhältnis** wurde die Grenze der Qualitätsstufe A auf den Wert 1 festgelegt, d.h. die Reisezeit im ÖV ist in der höchsten Qualitätsstufe nicht größer als die Reisezeit des Pkw-Verkehrs. Für die Regression wurde eine einfache lineare Funktion gewählt. Im Nahbereich bis 10 km Entfernung ergibt sich aus der Regressionsgerade ein Reisezeitverhältnis von 1,9. Da ein Reisezeitverhältnis von 1,9 jedoch nicht als gut eingeschätzt wurde, wurden die Grenzen für die Stufen der Angebotsqualität gemäß Tabelle 8 gewählt. Ca. 75 % der Werte liegen mit diesen Grenzen in den Stufen A bis C [1, S. 53].

Tabelle 8: Grenzen der SAQ für das Reisezeitverhältnis von ÖV und Pkw-Verkehr im Nahbereich bis 10 km

SAQ	A	B	C	D	E
Reisezeitverhältnis	1,00	1,60	2,20	2,80	3,40

Quelle: [1, S. 52]

Beim **Umwegfaktor** wurde die Regressionskurve als Grenze zwischen den Stufen B und C gewählt. Bei kurzen Entfernungen ab 5 km liegt der Umwegfaktor bei 1,7 und sinkt bis zu einer Entfernung von 500 km auf 1,17 ab. [1, S. 53] Die Regressionskurve wurde gemäß folgender Formel gebildet:

Formel 4: Regressionskurve des Umwegfaktors

$$UFak_{SAQ}(I_L) = \frac{10^{a+b \cdot \log_{10}(I_L)}}{I_L}$$

$UFak_{SAQ}$
 I_L
 a, b

Umwegfaktor einer SAQ-Kurve
Luftlinienentfernung [km] zwischen Start- und Zielpunkt
Parameter

Quelle: [1, S. 52]

Auch bei der **Umsteigehäufigkeit** wurde die Regressionskurve als Grenze zwischen den Stufen B und C gewählt. Die Kurve wurde jedoch im Nachhinein bearbeitet, sodass sie die Y-Achse bei 0,5 schneidet. Der Abstand zwischen zwei Stufen wurde auf 0,5 festgesetzt [1, S. 53]. Die zugrunde gelegte Formel ist:

Formel 5: Regressionskurve der Umsteigehäufigkeit

$$UH_{SAQ}(I_L) = a \cdot \ln(I_L) + b$$

UH_{SAQ}
 I_L
 a, b

Umsteigehäufigkeit einer SAQ-Kurve
Luftlinienentfernung [km] zwischen Start- und Zielpunkt
Parameter

Quelle: [1, S. 53]

2.6 Zusammenfassung der Rahmenbedingungen

Aus der Literaturrecherche lassen sich folgende Rahmenbedingungen zusammenfassen. In Kapitel 2.7 wird die Implementierung dieser Rahmenbedingungen dargestellt.

Für die Auswahl von Untersuchungsräumen und Start-Ziel-Beziehungen lassen sich folgende Punkte festhalten:

- 13 Innenstädte deutscher Großstädte als Untersuchungsräume
- vier Kategorien nach Einwohnerzahl
- mindestens zehn Referenzpunkte je Untersuchungsraum
- Abstand zwischen Referenzpunkten von 1 bis 3 km

- Referenzpunkte an wichtigen ÖPNV-Haltestellen
- Routen von jedem Punkt zu jedem anderen

Die Routensuche je Verkehrssystem wird auf folgende Weise durchgeführt:

- Nutzung der Google Maps API zur Berechnung der schnellsten Route
- Einfache Reisezeit d.h. ohne Zu- und Abgangszeiten
- Stichtag 19.09.2017 um 8 Uhr
- Einbeziehung historischer Reisezeiten für dynamische Reisezeiten
- Verkehrssysteme Pkw, ÖPNV, Bus, Fahrrad

Für die Bewertung der Reisezeit werden folgende Kenngrößen verwendet:

- Reisezeitverhältnis (verkehrsmittelvergleichend)
- Luftliniengeschwindigkeit
- Umwegfaktor

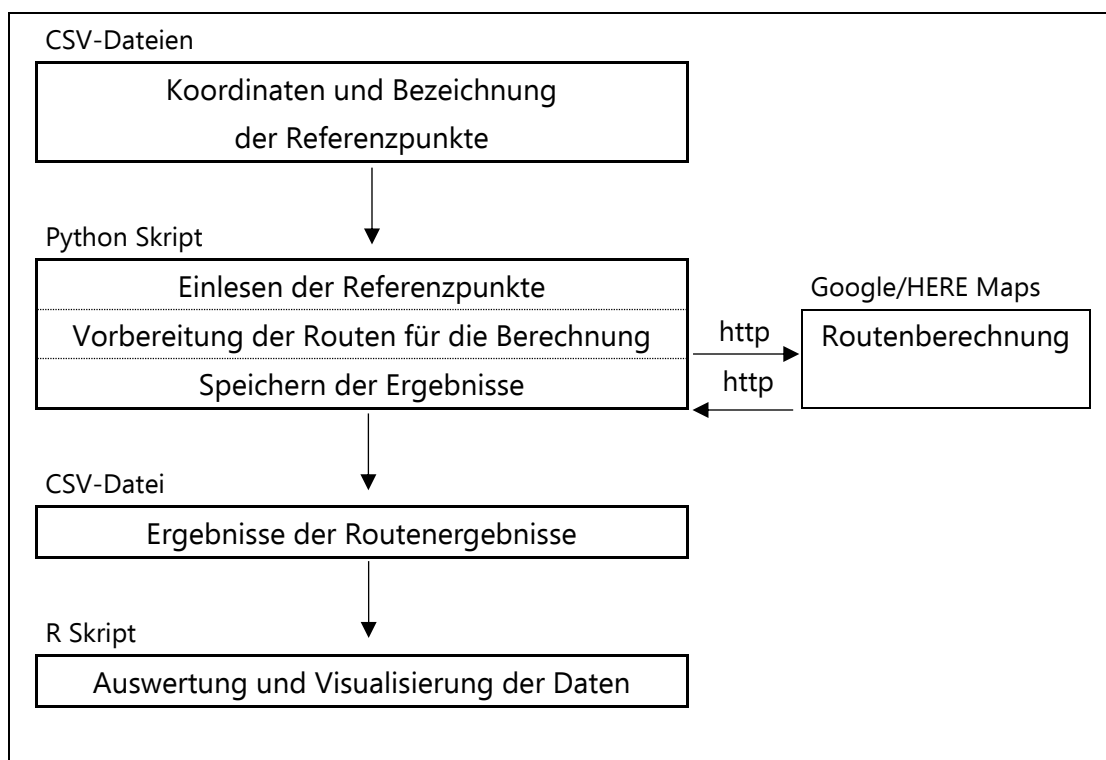
2.7 Implementierung

Der Ablauf der automatisierten Routenberechnung ist in Abbildung 10 dargestellt. Für die Berechnung der Routen werden die Start- und Zielkoordinaten der Start-Ziel-Relationen benötigt. Diese wurden manuell ermittelt und je Stadt in einer CSV-Datei gespeichert. Da die Koordinaten so gewählt wurden, dass sie an ÖV-Haltestellen liegen, wurden auch der Name der ÖV-Haltestelle und eine Abkürzung gespeichert. Diese Dateien mit den Koordinaten werden von einem Skript in der Programmiersprache Python eingelesen. Python ist in vielen GIS-Programmen als interne Skriptsprache verbreitet [14, S. 200] und ist für die Implementierung der Routenberechnung gut geeignet. Da sowohl mit Google als auch HERE Maps gearbeitet wird, wurden zwei Skripte erstellt, die an den jeweiligen Kartendienst angepasst sind. Die Skripte erstellen aus den Koordinaten und weiteren Parametern HTTP-Anfragen für die Routenberechnung durch den Online-Kartendienst. Je Route und Verkehrsmittel wird eine eigene HTTP-Anfrage gesendet und die Antwort des Servers, die die Routenbeschreibung enthält, ausgewertet. Um die serverseitige Höchstgrenze von Anfragen pro Minute nicht zu überschreiten, wurden in der Literatur drei Sekunden Pause zwischen den einzelnen Anfragen eingehalten [14, S. 200]. Dies hat sich in dieser Arbeit jedoch nicht als erforderlich herausgestellt.

Die Antwort der Server kann wahlweise im XML- oder JSON-Datenformat erfolgen. Das Python-Skript überprüft zunächst die Server-Antworten auf Fehler und kann diese Fehler dokumentieren und darauf basierend eine neue Routenanfrage mit variierten Parametern senden. Die Variation der Parameter wurde jedoch nur bei HERE Maps angewandt, wenn keine ÖV-Route mit den Standardwerten gefunden werden konnte. Das Skript liest die notwendi-

gen Informationen wie Reisezeit und Entfernung aus den Routenbeschreibungen und berechnet daraufhin auch die Kennwerte wie Reisezeitverhältnisse und Luftliniengeschwindigkeit. Die Daten aller Städte werden in einer gemeinsamen CSV-Datei gespeichert. In dieser Datei entspricht jede Zeile einer Start-Ziel-Relation. Die Spalten enthalten die Daten zu Stadt, Koordinaten, Fehlern bei der Routenberechnung und Kennwerte je Verkehrssystem. Auch die für die Berechnung einiger Kennwerte erforderliche Luftlinienentfernung wurde direkt über das Skript unter Annahme der Erde als Kugel mit einem Radius von 6.371 km berechnet. Für die hier vorliegenden Entfernungen von bis zu 10 km liefert diese Methode die gleichen Werte wie die Entfernungsmessung in Google Maps.

Abbildung 10: Implementation der Reisezeitberechnung



Quelle: Eigene Darstellung

Um die Zugangs- und Abgangszeiten nicht in die Reisezeit mit einzubeziehen, wurden bereits die Koordinaten der Referenzpunkte so gewählt, dass sie an ÖV-Haltestellen liegen. Da es dennoch zu kurzen Fußwegen bis zum Erreichen der Haltestelle kommen kann, wurde im Skript die Reisezeit erst gemessen, sobald die Fahrt mit einem ÖV-Fahrzeug an der Haltestelle begonnen wurde beziehungsweise bis zum Erreichen der Endhaltestelle erfasst. Dafür wurden die Namen der Haltestellen in der Routenbeschreibung mit den Namen der Haltestellen aus der Koordinatenliste abgeglichen. Falls die Route jedoch an einer alternativen Haltestelle in der Nähe der Koordinaten beginnt oder endet, wurde der Fußweg zwischen Haltestelle und Koordinate hinzugezählt.

Die verwendeten Parameter hängen vom Online-Kartendienst ab und wurden direkt im Skript hinterlegt. Eine Übersicht der Parameter gibt Tabelle 9. Beide Kartendienste benötigen die Parameter zu Koordinaten, Verkehrsmittel, Abfahrtszeit und Zugangsdaten. Die Zugangsdaten dienen der Authentifizierung, da die Nutzung der Online-Kartendienste erst nach Registrierung und unter Verwendung der Nutzerdaten möglich ist. Koordinaten, Verkehrsmittel und Abfahrtszeit funktionieren im Prinzip auf die gleiche Weise, die Form der Werte wird jedoch unterschiedlich übermittelt. So muss bei den Koordinaten für HERE Maps beispielsweise der Ausdruck „geo!“ vorangestellt werden. Die gewählte Abfahrtszeit von 8 Uhr am 19.09.2017 erfordert für HERE Maps eine ISO-Formatierung, während Google die Abfahrtszeit in Sekunden nach dem 01.01.1970 benötigt.

Bei den Verkehrsmitteln Pkw und Fahrrad kann bei HERE Maps zusätzlich die schnellste oder kürzeste Route gesucht werden und die Berücksichtigung von Verkehrsaufkommen eingestellt werden. Es wurde jeweils die schnellste Route unter Berücksichtigung des Verkehrsaufkommens gewählt. Bei Google kann im MIV die Art des Verkehrsmodells zwischen pessimistisch, optimistisch und „best guess“ gewählt werden. Hier wurde der von Google empfohlene Wert „best guess“ verwendet.

Im ÖV-Routing unterscheidet HERE Maps zusätzlich zwischen fahrplanfeiner Routensuche „publicTransportTimeTable“ oder einer Routensuche basierend auf historischen Fahrtzeiten „publicTransport“. Da HERE Maps zu Vergleichszwecken verwendet wird, werden hier für beide Varianten Routen berechnet. Für das Verkehrssystem Bus wurde keine eigene Anfrage gestellt, sondern die erzeugten ÖV-Routen nach Routen durchsucht, die nur mit dem Bus zurückgelegt wurden. Es gibt also nicht für jede Start-Ziel-Relation Daten zur Reisezeit mit dem Bus.

Für die Gehgeschwindigkeit empfiehlt HERE Maps einen Wert von 1,25 m/s (5 km/h) [22]. Google offenbart die interne Gehgeschwindigkeit nicht und ermöglicht auch keine Anpassung in der Routenberechnung. Aufgrund der berechneten Routen ist davon auszugehen, dass auch Google mit ca. 5 km/h Gehgeschwindigkeit rechnet. Wenn der Parameter für die Gehgeschwindigkeit bei HERE Maps nicht definiert wird, wird eine geringere Gehgeschwindigkeit verwendet, was dazu führt, dass ÖV-Routen, die nur aus Fußwegen bestehen, deutlich länger dauern. Daher wurde dieser Parameter immer mitgegeben.

Die in einer CSV-Datei gespeicherten Ergebnisse werden anschließend mit der für Statistik optimierten Programmiersprache R ausgewertet.

Tabelle 9: Verwendete Parameter für die Routenberechnung in Google und HERE Maps

Parameter	Google Maps		HERE Maps	
	Name	Wert (Beispiel)	Name	Wert (Beispiel)
Koordinaten	origin, destination	48.12354,11.56698 48.12808,11.57599	waypoint0 waypoint1	geo!48.12354,11.56698 geo!48.12808,11.57599
Verkehrsmittel	mode	driving	mode	fastest:car; traffic:enabled
Abfahrtszeit	departure _time	1505808000 [Sek. seit 1.1.1970]	departure	2017-09-19T08:00:00
Gehgeschwin- digkeit	--	--	walk Speed	1,25 [m/s ~ 5 km/h]
Zugangsdaten	key	XYZ	app_id app_code	XYZ XYZ

Quelle: Eigene Darstellung

3 Ergebnisse

3.1 Datenaufbereitung

Die gewonnenen Daten bestehen aus 1.833 Routen, zu denen je Verkehrssystem Reisezeit, Länge, Luftliniengeschwindigkeit, Reisezeitverhältnis gegenüber MIV und Umwegfaktor vorliegen. In einem ersten Schritt wurden Ausreißer in diesen Werten identifiziert und entfernt. Als Ausreißer wurden Werte definiert, die außerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstand liegen, dies ist die Voreinstellung in R [29]. Die Ausreißer wurden nicht global über dem gesamten Datensatz berechnet, sondern je Stadt. So ist zum Beispiel ein Ausreißer in der Stadt Braunschweig nicht davon abhängig, wie der Interquartilsabstand in Berlin ist. Darüber hinaus sind 861 der 1.833 Routen in Berlin berechnet worden, sodass die Routen in kleinen Großstädten mit nur 45 Routen bereits als Ausreißer gegenüber Berlin erfasst werden könnten. In Tabelle 10 ist dargestellt, wie viele Ausreißer insgesamt gefunden wurden und welchen Anteil sie an der Gesamtzahl haben. Der höchste Anteil von Ausreißern liegt beim Umwegfaktor des MIV (5,2%).

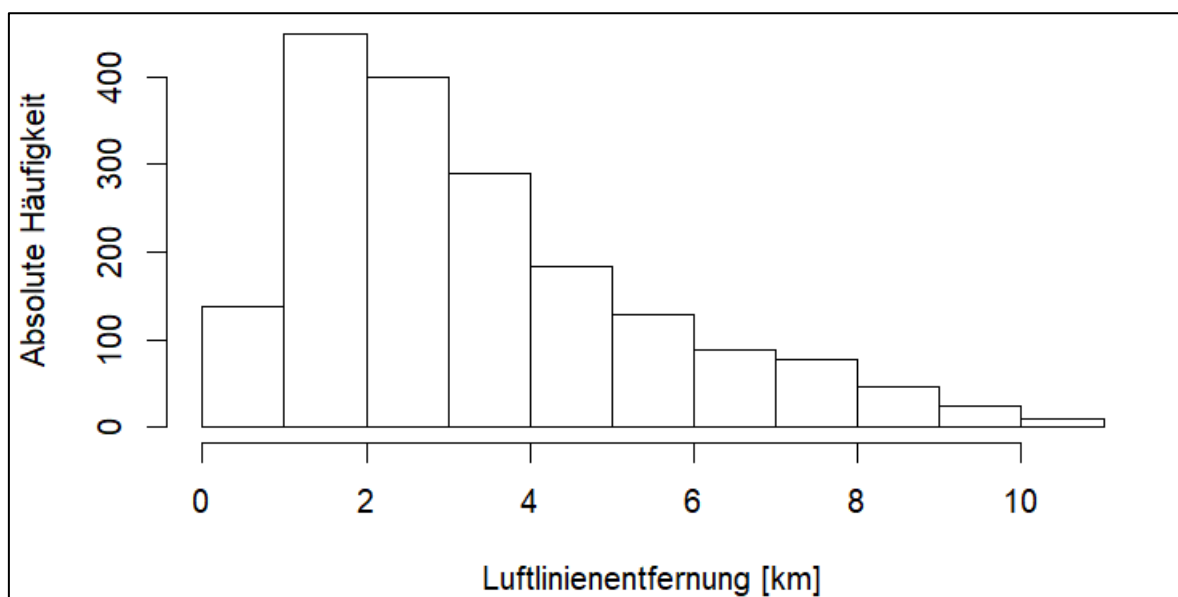
Tabelle 10: Anzahl und Anteil der Ausreißer bei 1.833 Routen insgesamt

Kenngroße	Anzahl Ausreißer	Anteil Ausreißer
Reisezeitverhältnis		
ÖV/MIV	51	2,8 %
Bus/MIV	19	1,0 %
Fahrrad/MIV	52	2,8 %
Luftliniengeschwindigkeit		
MIV	46	2,5 %
ÖV	42	2,3 %
Bus	12	0,6 %
Fahrrad	54	3,0 %
Umwegfaktor		
MIV	96	5,2 %
ÖV	72	3,9 %
Bus	20	1,1 %
Fahrrad	64	3,5 %

Wie in den RIN sind auch in dieser Untersuchung die Entfernungsklassen der Routenlängen unterschiedlich besetzt [1, S. 50]. Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Luftlinienentfernung der Start-Ziel-Relationen. Dafür wurden Entfernungsklassen mit einer Breite von 1 km gewählt. Auffällig ist, dass die stärkste Besetzung in den Entfernungsklasse von 1 bis 2 km liegt und die Besetzung in den folgenden Klassen abnimmt.

In den RIN wird zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Besetzung der Entfernungsklassen eine Gewichtung vorgeschlagen, die nicht näher beschrieben wird [1, S. 50]. Um alle Entfernungsklassen gleichermaßen zu berücksichtigen, wurden Gewichtungsfaktoren auf Basis der Besetzung der Entfernungsklassen ermittelt (siehe Tabelle 11). Die Entfernungsklasse mit der höchsten Besetzung erhält einen Gewichtungsfaktor von 1 und die anderen Entfernungsklassen einen Gewichtungsfaktor, der dem Verhältnis von höchster Besetzung zu eigener Besetzung entspricht. Durch die Gewichtung wird also simuliert, dass alle Entfernungsklassen gleich stark besetzt sind. Im Anhang befindet sich zu Vergleichszwecken Tabelle 17 mit den berechneten Kennwerten ohne Berücksichtigung der Gewichtung.

Abbildung 11: Besetzung der Entfernungsklassen in allen Städten



Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 11: Besetzung und resultierende Gewichtung der Entfernungsklassen

Klassen- grenzen [km]	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11
Besetzung	137	449	400	289	184	128	88	77	47	25	9
Gewicht	3,28	1	1,12	1,55	2,44	3,51	5,1	5,83	9,55	17,96	49,89

Quelle: Eigene Darstellung

3.2 Verkehrsmittelübergreifende Ergebnisse

3.2.1 Zwischenergebnisse

In Tabelle 12 sind die gewichteten Mittelwerte der Kenngrößen je Stadt und Stadtkategorie sortiert nach Einwohnerzahlen aufgeführt. Das Reisezeitverhältnis MIV/ÖV schwankt einer-

seits in Abhängigkeit der Stadtgröße, andererseits führen lokale Einflüsse aus Verkehrsinfrastruktur und Angebotsqualität auch zu unterschiedlichen Ergebnissen. Ab einer Stadtgröße von 500.000 Einwohnern liegt das Reisezeitverhältnis ÖV/MIV im Mittel meist unter dem von kleineren Großstädten und in Städten ab 1 Million Einwohner sind die Werte sehr niedrig. Dennoch gibt es Ausnahmen wie zum Beispiel im Vergleich von Dresden (1,39) mit Potsdam (1,13). Die Städte in den Stadtkategorien können also nicht als homogen, sondern sehr heterogen aufgefasst werden. Dies wird auch durch die beiden Extremwerte der mittleren Reisezeitverhältnisse MIV/ÖV deutlich:

In Oldenburg, der kleinsten betrachteten Großstadt, ist das Reisezeitverhältnis MIV/ÖV am höchsten (1,95). Am geringsten ist es in München (0,64). Beide Werte weichen jedoch stark von anderen beiden Städten derselben Stadtkategorie ab. In den Städten mit bis zu 500.000 Einwohnern liegen die Mittelwerte der Luftliniengeschwindigkeit des ÖV zwischen 9 bis 13 km/h, während sie beim MIV zwischen 11 bis 19 km/h liegen. Die Mittelwerte der Luftliniengeschwindigkeit liegen beim MIV also weiter auseinander als beim ÖV. Dies legt nahe, dass Unterschiede im Reisezeitverhältnis ÖV/MIV zwischen den Städten bis zu 500.000 Einwohnern eher auf die Geschwindigkeit des MIV als auf den ÖV zurückzuführen sind. So wird beispielsweise die Oldenburger Innenstadt bereits in einer Entfernung von weniger als 1,5 km von der Autobahn A 28 teilweise umschlossen und ist dadurch gut mit dem MIV erreichbar. In der Münchner Innenstadt ist das Liniennetz der U-Bahn und Tram sehr dicht und die Erreichbarkeit durch den MIV durch Einbahnstraßen und Fußgängerzonen eingeschränkt, wodurch sich ein sehr niedriges Reisezeitverhältnis MIV/ÖV von 0,64 ergibt.

Bei Betrachtung der ÖV-Routen, die nur mit dem Bus zurückgelegt wurden, zeigt sich, dass das mittlere Reisezeitverhältnis Bus/MIV in allen Stadttypen höher ist als beim ÖV/MIV allgemein. Nur in den Städten Köln und Dresden ist das Reisezeitverhältnis beim Bus geringer als beim ÖV allgemein.

Beim Verkehrsmittel Fahrrad liegt das Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV in 8 von 9 Städten bis 1 Million Einwohner unterhalb dem des ÖV. Die mittlere Luftliniengeschwindigkeit des Fahrrads befindet sich in allen Städten zwischen 10 und 13 km/h und streut damit vergleichsweise weniger als MIV und ÖV. In der Stadtkategorie von 1 Million bis 2,5 Millionen Einwohnern liegt die Luftliniengeschwindigkeit des Fahrrads um 1 bis 2 km/h niedriger als in den anderen Städten (11 km/h). Da jedoch auch die Luftliniengeschwindigkeit des MIV in diesen Städten niedriger ist (12 km/h) als in den anderen Städten, ergibt sich dennoch ein Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV von 1,11. Würde man bei allen Verkehrssystemen Anbindungszeiten für das Suchen von Parkplätzen beziehungsweise Zugangszeiten zu Haltestellen im ÖV berücksichtigen, ergebe sich vermutlich ein noch niedrigeres Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV und Fahrrad/ÖV, da mit dem Fahrrad diese Zeiten vermutlich sehr gering sind.

Der Umwegfaktor wurde ergänzend zu den anderen Kenngrößen auch bestimmt, wird jedoch nur unterstützend als Erklärung für die anderen Kenngrößen herangezogen. Allein lässt der Umwegfaktor wenige Rückschlüsse auf die Qualität des Verkehrssystems zu. Beispielsweise kann im MIV ein ähnlicher Umwegfaktor mit unterschiedlichen Luftliniengeschwindigkeiten einhergehen. So beträgt der Umwegfaktor des MIV in Köln 1,69 und in Oldenburg 1,56. Die Luftliniengeschwindigkeiten unterscheiden sich jedoch stark: Köln mit 12 km/h und Oldenburg mit 19 km/h. Daher wird in den folgenden Auswertungen keine vertiefende Analyse (Regressionsanalyse) des Umwegfaktors durchgeführt.

Tabelle 12: Kennwerte (Mittelwert) je Stadt

Einwohner	100.000 bis 250.000				250.000 bis 500.000				500.000 bis 1 Mio.			
Städte	Oldenburg	Potsdam	Freiburg	Gemeinsam	Braunschweig	Bonn	Wuppertal	Gemeinsam	Dresden	Düsseldorf	Stuttgart	Gemeinsam
Reisezeitverhältnis ÖV/MIV	1,95	1,13	1,34	1,43	1,3	1,66	1,78	1,73	1,39	1,1	0,98	1,25
Bus/MIV	1,93	1,32	1,37	1,83	1,36	2,33	2,07	1,96	1,34	1,5	1,19	1,37
Fahrrad/MIV	1,37	1,09	0,95	1,17	1,05	1,08	1,69	1,58	1,3	1,24	1,31	1,3
Luftliniengeschwindigkeit MIV [km/h]	19	15	11	15	13	15	19	19	17	15	12	16
ÖV [km/h]	10	13	9	12	10	10	10	11	12	15	14	13
Bus [km/h]	11	10	10	10	10	7	9	9	12	12	11	12
Fahrrad [km/h]	13	13	12	13	12	13	11	12	13	12	10	12
Umwegfaktor MIV	1,56	1,49	1,54	1,54	1,51	1,5	1,58	1,54	1,4	1,57	1,48	1,47
ÖV	1,42	1,17	1,51	1,35	1,22	1,32	1,46	1,38	1,3	1,25	1,43	1,32
Bus	1,42	1,31	1,45	1,45	1,29	1,38	1,57	1,42	1,24	1,25	1,23	1,24
Fahrrad	1,24	1,24	1,36	1,29	1,26	1,3	1,31	1,30	1,25	1,26	1,34	1,26
Anzahl Routen	45	45	45	135	45	45	55	145	105	55	66	226
Einwohner	1 Mio. bis 2,5 Mio.				Ab 2,5 Mio.				Alle			
Städte	Köln	München	Hamburg	Gemeinsam	Berlin				Gemeinsam			
Reisezeitverhältnis ÖV/MIV	1,08	0,64	1,01	0,81	1,00				1,05			
Bus/MIV	0,82	1,23	1,39	1,31	1,44				1,54			
Fahrrad/MIV	1,18	1,01	1,19	1,11	1,32				1,29			
Luftliniengeschwindigkeit MIV [km/h]	12	11	14	12	17				17			
ÖV [km/h]	13	21	16	19	18				17			
Bus [km/h]	9	9	10	10	11				10			
Fahrrad [km/h]	10	11	12	11	13				13			
Umwegfaktor MIV	1,69	1,6	1,35	1,52	1,30				1,36			
ÖV	1,32	1,3	1,37	1,33	1,33				1,36			
Bus	1,18	1,3	1,32	1,31	1,23				1,30			
Fahrrad	1,34	1,37	1,34	1,37	1,25				1,26			
Anzahl Routen	105	171	190	466	861				1833			

3.2.2 Bewertung

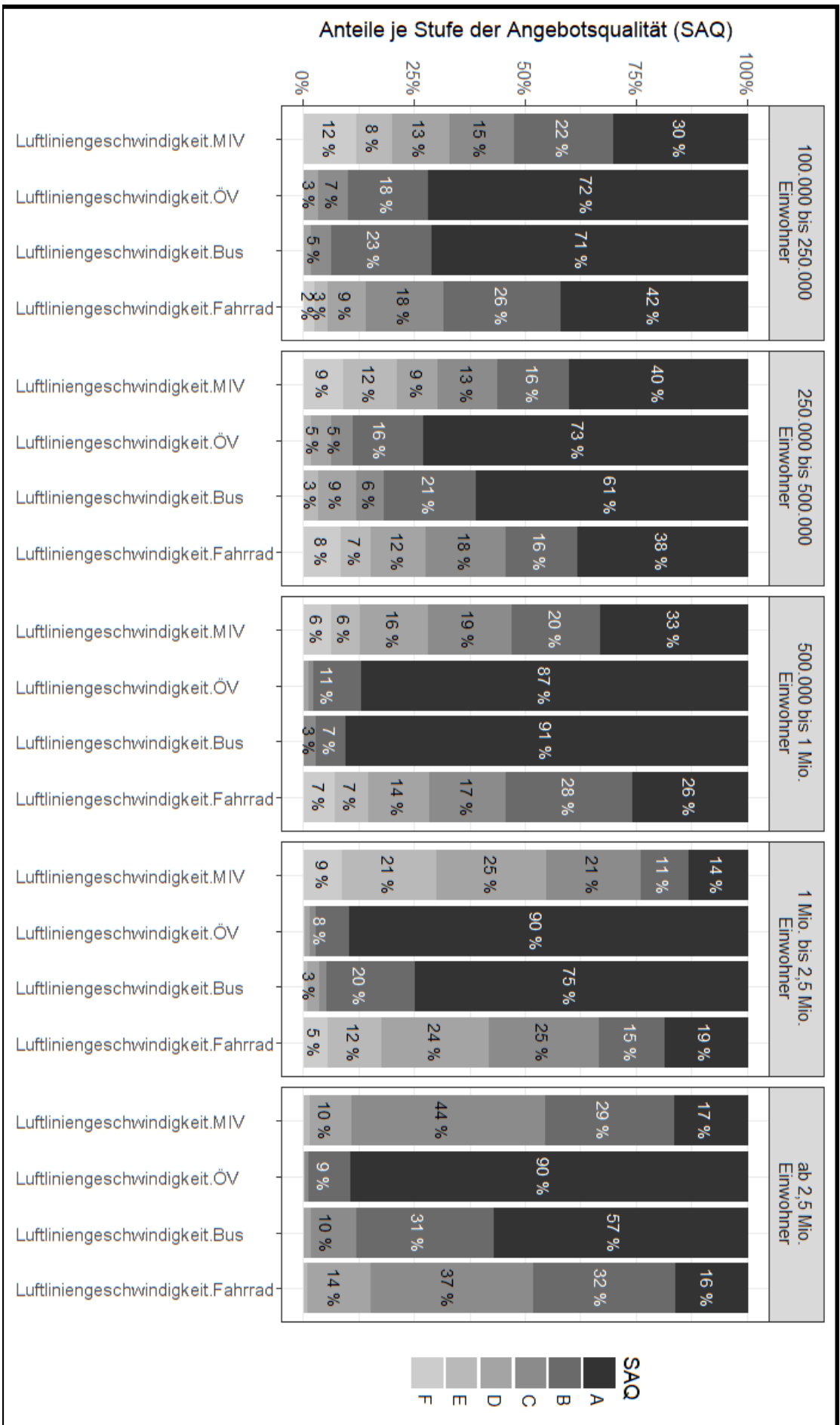
Die berechneten Luftliniengeschwindigkeiten und Reisezeitverhältnisse wurden nach dem in Kapitel 2.5 beschriebenen Verfahren bewertet. Die dazu verwendeten Regressionskurven sind in den Unterkapiteln je Verkehrssystem und Kenngröße beschrieben. Abbildung 12 zeigt die Bewertung für die Luftliniengeschwindigkeit, Abbildung 13 für das Reisezeitverhältnis nach den Stufen der Angebotsqualität (SAQ) von A für „sehr gut“ bis F für „unzureichend“. Für Luftliniengeschwindigkeit von ÖV und Bus konnte keine Regression erstellt werden (siehe Kapitel 3.4.2). Hier werden die Parameter aus den RIN verwendet. Ebenso wurde keine neue Regression für das Reisezeitverhältnis ÖV/MIV und Bus/MIV berechnet, da die Grenzen für das Reisezeitverhältnisses in den RIN entgegen dem Ergebnis der Regression nach eigenem Ermessen festgelegt wurde [1, S. 53].

Wie in Abbildung 12 zu erkennen ist, wird die Luftliniengeschwindigkeit von ÖV und Bus in allen Stadtkategorien überwiegend mit A, also „sehr gut“ bewertet. Die aus den RIN übernommenen Grenzwerte für die Bewertung liegen also deutlich niedriger als die meisten der in dieser Arbeit errechneten Werte. Bei der Luftliniengeschwindigkeit von MIV und Fahrrad wurden neue Grenzwerte über eine Regression bestimmt und 50 % bis 75 % der Werte fallen in die Qualitätsstufen A bis C. In Städten bis zu 1 Million Einwohner ist der Anteil der Luftliniengeschwindigkeit von MIV und Fahrrad in der Qualitätsstufe „sehr gut“ am höchsten. In der Stadtkategorie ab 2,5 Millionen Einwohner liegen die Anteile in den Qualitätsstufen A bis C bei 90 % (Luftliniengeschwindigkeit MIV) und 85 % (Luftliniengeschwindigkeit Fahrrad). Dies ist bemerkenswert, da die Qualitätsstufen so festgelegt wurden, dass 80 % der Werte innerhalb der Qualitätsstufen A bis C liegen. Die Stadtkategorie ab 2,5 Millionen Einwohnern stellt knapp die Hälfte der Daten bereit und beeinflusst damit den Wert der Grenzen der Qualitätsstufen stark. Dies kann erklären, warum die Anteile der Luftliniengeschwindigkeiten von MIV und Fahrrad in der Stadtkategorie ab 2,5 Millionen Einwohnern in den Qualitätsstufen A bis C in der Nähe von 80 % liegen. Dies gilt auch für das das Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV, das in Abbildung 13 dargestellt ist, da dieses das einzige Reisezeitverhältnis ist, dem eine Regressionsgerade zugrunde liegt.

Abbildung 13 zeigt das gleiche Diagramm auf Basis der Reisezeitverhältnisse. Das Reisezeitverhältnis ÖV/MIV ist in Städten ab 500.000 Einwohnern bereits zu mindestens 49 % „sehr gut“ und nimmt in den größeren Städtekategorien weiter zu. Entgegen der Hypothese, dass grundsätzlich mit zunehmender Stadtgröße das Reisezeitverhältnis ÖV/MIV abnimmt, wird das Reisezeitverhältnis ÖV/MIV in der Stadtkategorie 250.000 bis 500.000 Einwohner am schlechtesten bewertet. Die Bewertung des Reisezeitverhältnisses Bus/MIV ist dem des ÖV/MIV meist ähnlich. In den Städten bis zu 1 Million Einwohnern ist das Reisezeitverhältnis

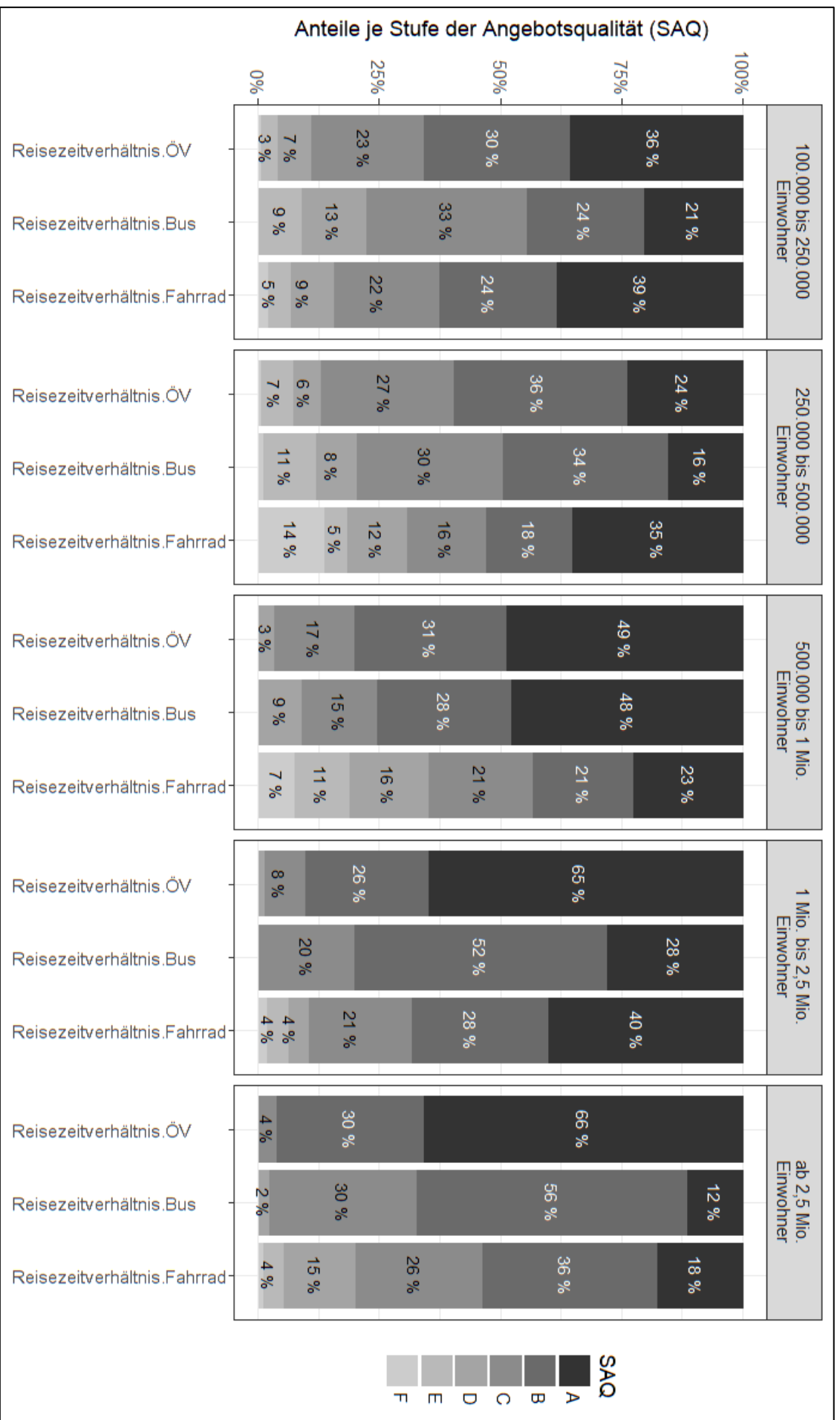
Bus/MIV etwas schlechter bewertet, in den Städten darüber hinaus zeigt sich jedoch, dass der Bus im Vergleich zum MIV deutlich langsamer wird und schlechter bewertet wird. Beim Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV lässt sich kein Trend vermuten. Die beste Qualität wird hier in Städten von 500.000 bis 1 Million Einwohnern erreicht. Ein Zusammenhang mit der Stadtgröße ist jedoch nicht erkennbar.

Abbildung 12: Stufen der Angebotsqualität (SAQ) der Luftliniengeschwindigkeit je Stadtkategorie



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 13: Stufen der Angebotsqualität (SAQ) des Reisezeitverhältnisses je Stadtkategorie



3.3 Motorisierter Individualverkehr

3.3.1 Luftliniengeschwindigkeit

Für die Bestimmung der Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit des MIV wurde wie in Kapitel 2.5 beschrieben eine Regression durchgeführt und die Regressionskurve als Grenze zwischen den Qualitätsstufen B und C angesetzt. Die verwendete Formel lautet:

Formel 6: Regressionskurve der Luftliniengeschwindigkeit

$$V_{L,SAQ}(I_L) = \frac{1}{a \cdot I_L^b + c}$$

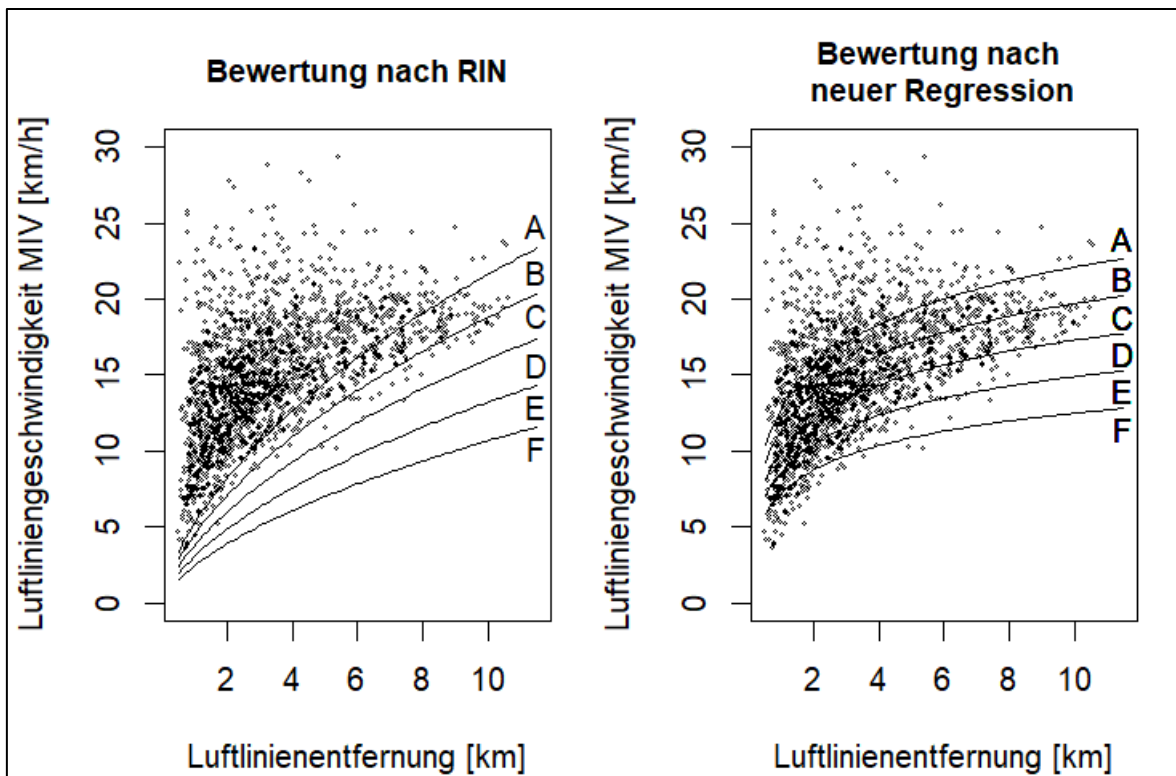
$V_{L,SAQ}$	Luftliniengeschwindigkeit [km/h] einer SAQ-Kurve
I_L	Luftlinienentfernung [km] zwischen Start- und Zielpunkt
a, b, c	Parameter

Quelle: [1, S. 51]

Die weiteren Grenzen zwischen den Qualitätsstufen wurden so gewählt, dass die Abstände zwischen den Grenzen gleich groß sind und innerhalb der Qualitätsstufen A bis C 80 % der Daten liegen. Als Datengrundlage wurden die Daten aller Städte, gewichtet nach Entfernungsklasse, verwendet.

Abbildung 14 zeigt die ermittelten Kurven der Qualitätsstufen und die in den RIN ermittelten Kurven. In Tabelle 13 sind die zugrunde liegenden Parameter hinterlegt. Die Visualisierung der Daten zeigt, dass die die Luftliniengeschwindigkeit nach den Parametern aus den RIN deutlich besser bewertet werden, als bei einer neuen Regression. Bei Verwendung der Parameter für die Kurven der Angebotsqualität aus den RIN liegen über 99 % der Messwerte innerhalb der Qualitätsstufen A bis C. In der Untersuchung in den RIN liegen dagegen 80 % der Messwerte innerhalb dieser Qualitätsstufen. Zu beachten ist, dass in den RIN die komplexe Reisezeit, also inklusive Zu- und Abgangszeiten bewertet wurde und die Luftliniengeschwindigkeit damit systematisch höher ist. Daher erscheint es sinnvoll, die Bewertungskriterien an die Daten dieser Arbeit anzupassen, indem eine neue Regression erzeugt wird. Insgesamt erscheint der Ansatz, eine nichtlineare Funktion für den Zusammenhang zwischen Luftlinienentfernung und Luftliniengeschwindigkeit zu wählen als richtig, da das Muster der visualisierten Daten nicht auf eine Gerade schließen lässt.

Abbildung 14: Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit MIV im Vergleich



Quelle: Eigene Darstellung

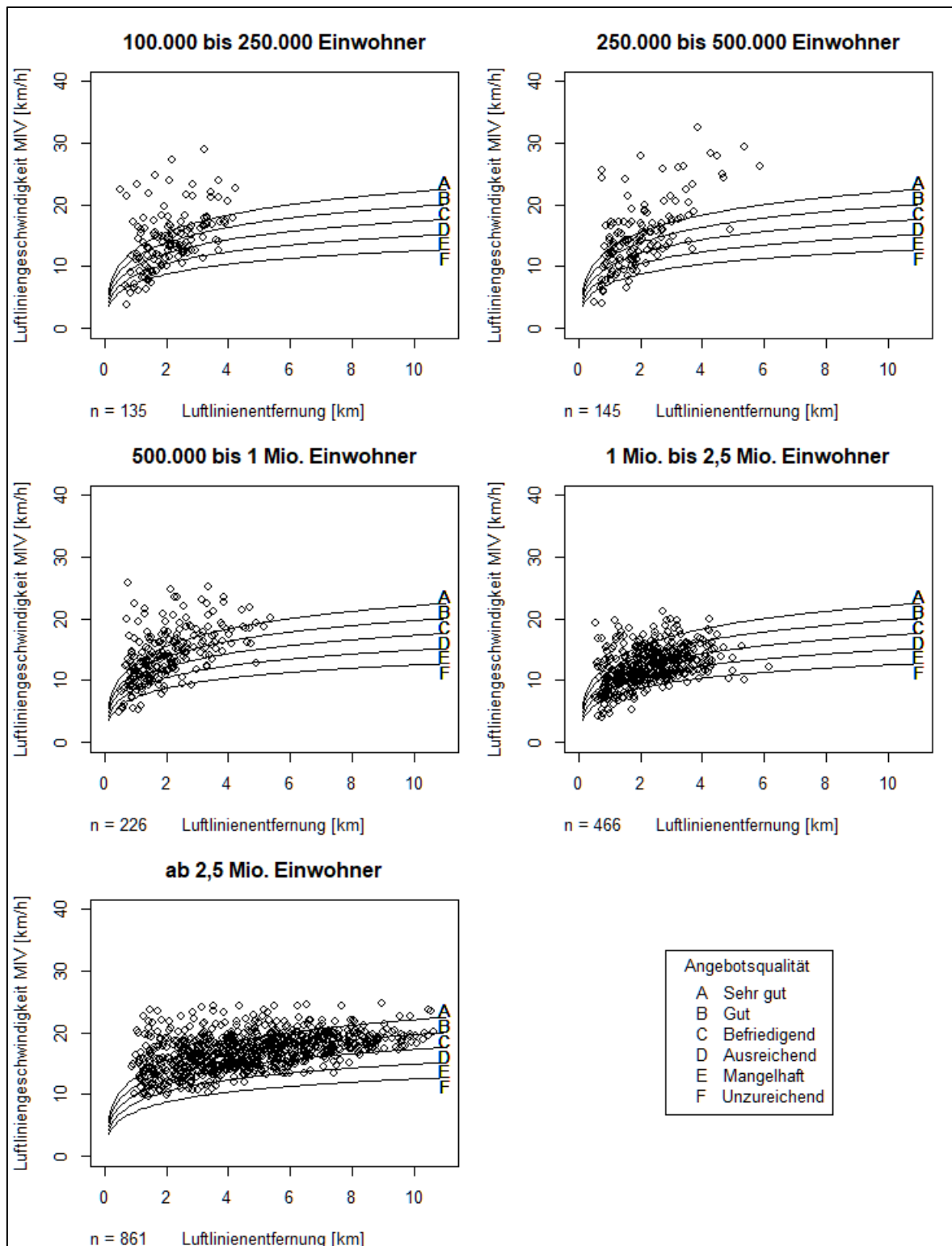
Tabelle 13: Parameter der Kurven der Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit MIV im Vergleich

Parameter	SAQ A	SAQ B	SAQ C	SAQ D	SAQ E
RIN					
a	0,1800	0,2100	0,2500	0,3100	0,3900
b	-0,6760	-0,6760	-0,6760	-0,6760	-0,6760
c	0,0083	0,0089	0,0096	0,0104	0,0115
Eigene Werte					
a	0,0516	0,0579	0,0659	0,0766	0,0913
b	-0,4387	-0,4387	-0,4387	-0,4387	-0,4387
c	0,0264	0,0297	0,0338	0,0392	0,0468

Quelle: [1, S. 50]

Abbildung 15 zeigt die Luftliniengeschwindigkeit je Stadtkategorie und ihre Lage innerhalb der Qualitätsstufen. Darüber hinaus ist die Anzahl n der vorhandenen Daten angegeben. Mit zunehmender Stadtgröße ist zu beobachten, dass einerseits die Luftlinienentfernung zunimmt und andererseits die Streuung der Werte kleiner wird. Dies lässt sich durch Berechnen der Standardabweichungen bestätigen.

Abbildung 15: Luftliniengeschwindigkeit MIV je Stadtkategorie

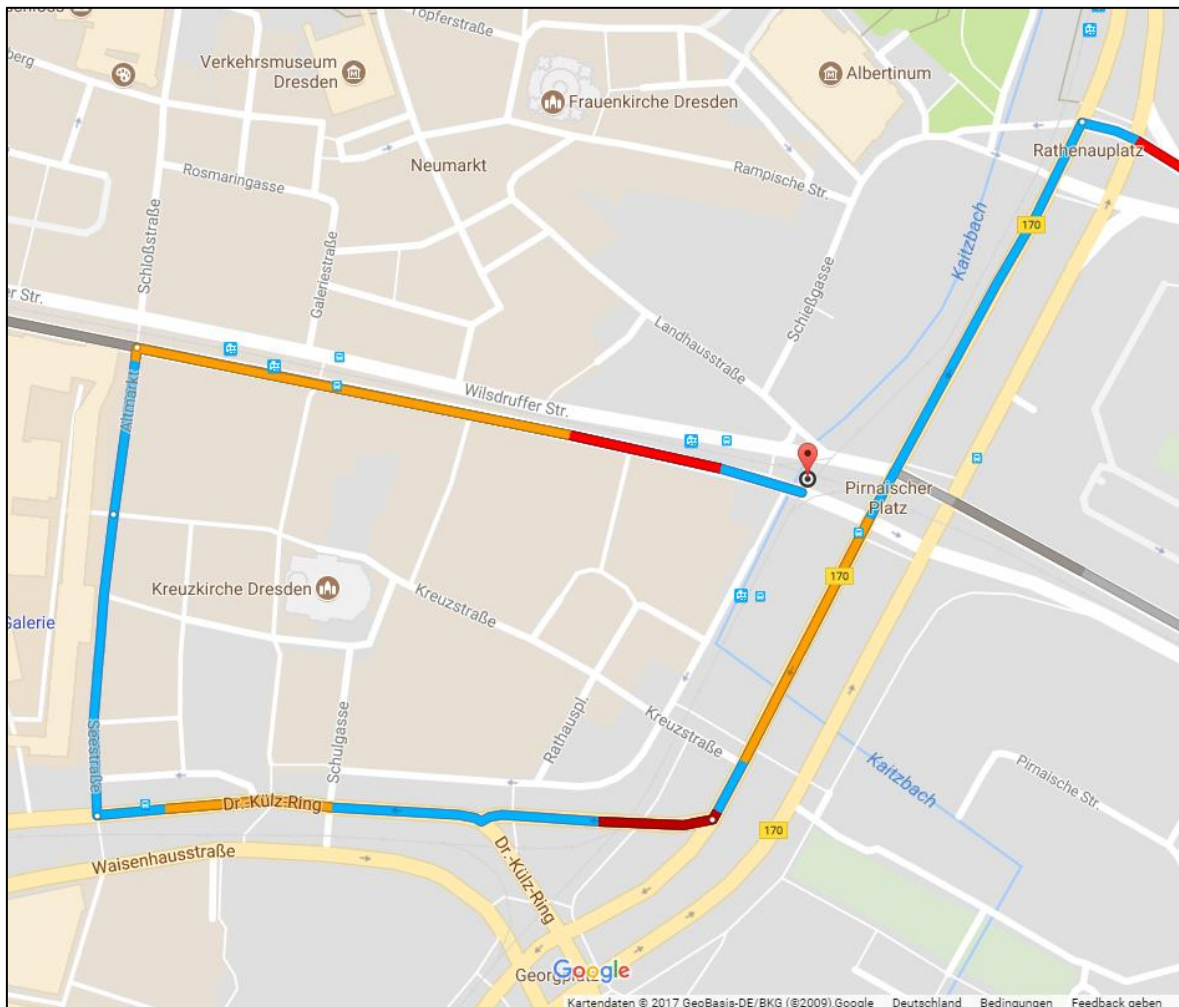


Quelle: Eigene Darstellung

Bei der manuellen Überprüfung einiger Routen wurde festgestellt, dass die Koordinaten von Start- und Zielpunkten bei Hauptverkehrsstraßen mit Mittelstreifen zwischen den Fahrbahnen liegen können. In diesem Fall wird von Google als Start- oder Zielpunkt ein Punkt auf

der nähergelegenen Richtungsfahrbahn gewählt. Dies kann zu Umwegen führen, zum Erreichen der Richtungsfahrbahn ein Wendemanöver erforderlich ist und erhöht die Reisezeit des MIV. Abbildung 16 zeigt ein Beispiel eines solchen Falls in Dresden. Der Zielpunkt am Pirnaischen Platz liegt zwischen den Richtungsfahrbahnen und von Google Maps wurde als Zielpunkt ein Punkt auf der Richtungsfahrbahn in Fahrtrichtung Osten gewählt, wodurch ein Umweg notwendig ist, um die Richtungsfahrbahn zu erreichen.

Abbildung 16: Umweg im MIV zur Erreichung des Zielpunkts auf Richtungsfahrbahn



Quelle: Google Maps

3.4 Öffentlicher Personennahverkehr

Im ÖPNV kann es dazu kommen, dass statt eines öffentlichen Verkehrsmittels der direkte Fußweg als schnellste Route berechnet wird. Von 1.833 ÖV-Routen wurde bei 10 ÖV-Routen vorgeschlagen, zu Fuß zu gehen. Diese Fußwege verteilen sich auf acht Städte und der Einfluss auf die Kennwertberechnung ist als gering einzuschätzen.

3.4.1 Reisezeitverhältnis

Die Grenzwerte für die Qualitätsstufen für Reisezeitverhältnis ÖV/MIV wurden in den RIN nach Berechnen einer Regressionsgerade dennoch wie nach Tabelle 14 festgelegt, weil die berechneten Grenzwerte bereits ein Reisezeitverhältnis von 1,9 als „gut“ definiert hätten [1, S. 53]. Diese Grenzwerte wurden für die Bewertung in dieser Arbeit übernommen.

Tabelle 14: Parameter der Gerade der Angebotsqualität des Reisezeitverhältnisses ÖV/MIV nach RIN

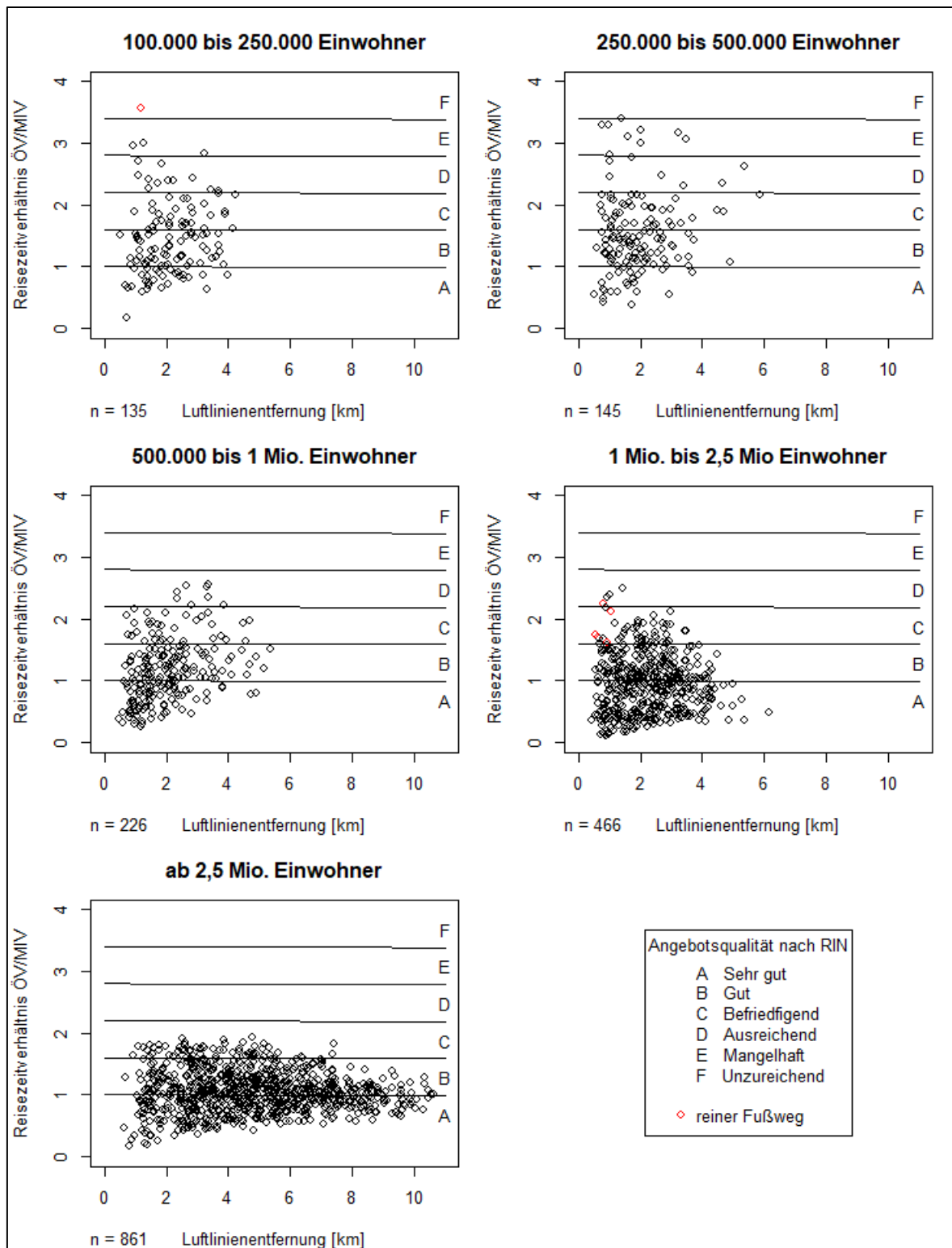
Parameter	SAQ A	SAQ B	SAQ C	SAQ D	SAQ E
Steigung	-0,0015	-0,0015	-0,0015	-0,0015	-0,0015
Y-Abschnitt	1,1	1,6	2,2	2,8	3,4

Quelle: [1, S. 52]

Abbildung 17 zeigt das Reisezeitverhältnis ÖV/MIV je Stadtkategorie und die Lage innerhalb der Qualitätsstufen. Rot eingefärbte Messwerte zeigen an, dass es sich bei der berechneten ÖV-Route um einen Fußweg handelt. Bei Fußwegen liegt das Reisezeitverhältnis ÖV/MIV jeweils im oberen Bereich der Daten. In allen Stadtkategorien liegt ein Großteil der Messwerte unter einem Wert von 2. Die Stadtkategorie ab 2,5 Millionen Einwohner wurde in Kapitel 3.2 am besten bewertet, was durch die insgesamt niedrigen Werte deutlich wird. Auffallend ist, dass insbesondere in den Stadtkategorien ab 1 Million Einwohner viele Werte von weniger als 1 und weniger als 0,5 erreicht werden. Ein Erklärungsansatz ist, dass einige der öffentlichen Verkehrssysteme wie U- und S-Bahn und Tram auf eigenem Gleiskörper unabhängig vom Stau im Straßenverkehr sind. Ein anderer Erklärungsansatz ist, dass bei der Berechnung der Reisezeiten des ÖPNV die Fahrplandaten verwendet wurden und Verspätungen im ÖPNV nicht berücksichtigt werden konnten.

Die Ursache kann jedoch auch in der Berechnung zu hoher Reisezeiten des MIV liegen, wie in Kapitel 3.3.1 erläutert.

Abbildung 17: Reisezeitverhältnis ÖV/MIV je Stadtkategorie



Quelle: Eigene Darstellung

3.4.2 Luftliniengeschwindigkeit

Für die Luftliniengeschwindigkeit des ÖV konnte keine Regression erstellt werden. Mit der auf Statistik spezialisierten Programmiersprache R können drei verschiedene Algorithmen zur Berechnung einer nichtlinearen Regression verwendet werden. Zusätzlich ist die Eingabe von Startwerten für die zu schätzenden Parameter erforderlich. Bei einem der Algorithmen kann zusätzlich ein Zielbereich für die zu schätzenden Parameter angegeben werden. Es konnte jedoch mit keinem der Algorithmen und verschiedenen Parametern eine Regression durchgeführt werden, da keine Konvergenz der Iterationen erreicht wurde.

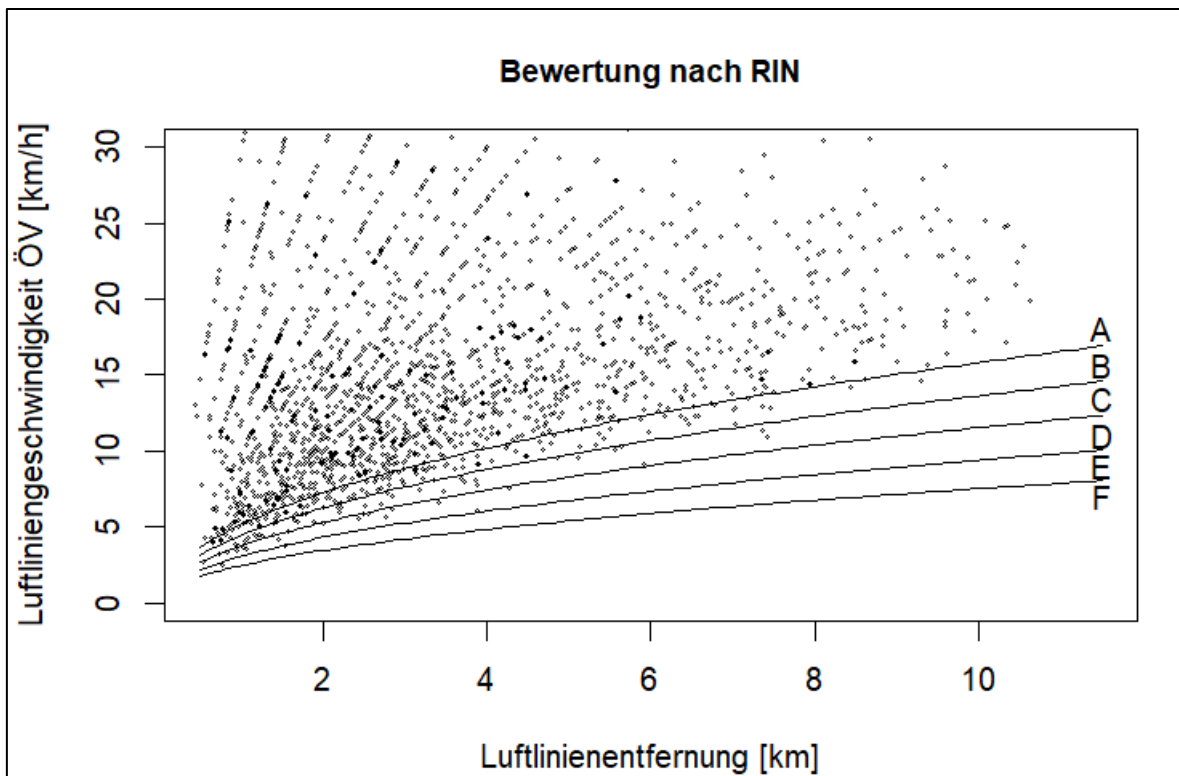
Aus diesem Grund wurden als Bewertungsskala die in den RIN ermittelten Parameter verwendet.

Bei Betrachtung der Werte der Luftliniengeschwindigkeit in Abbildung 18 fällt auf, dass sehr wenige Werte in den Qualitätsstufen D bis F liegen. Durch Berechnung wird bestätigt, dass 99 % der Werte bereits in den Qualitätsstufen A bis C liegen. Es muss in Betracht gezogen werden, dass die Grenzwerte aus den RIN nicht für die Bewertung der Luftliniengeschwindigkeit geeignet sind.

Außerdem fällt auf, dass ein Teil der Werte nach einem strahlenförmigen Muster angeordnet ist. Besonders im oberen linken Bereich ist zu erkennen, dass die Punkte auf verschiedenen strahlenförmigen Linien angeordnet sind. In Abbildung 19 kann das beschriebene Muster in den Stadtkategorien ab 2,5 Millionen Einwohnern wieder erkannt werden. Möglicherweise würde dieses Muster auch in den kleineren Stadtkategorien erkennbar sein, wenn die Anzahl an Routen steigt. Die Entstehung dieses Musters kann jedoch nicht erklärt werden. Eventuell ist dies ein Grund dafür, dass die Algorithmen keine Lösung für eine Regression gefunden haben.

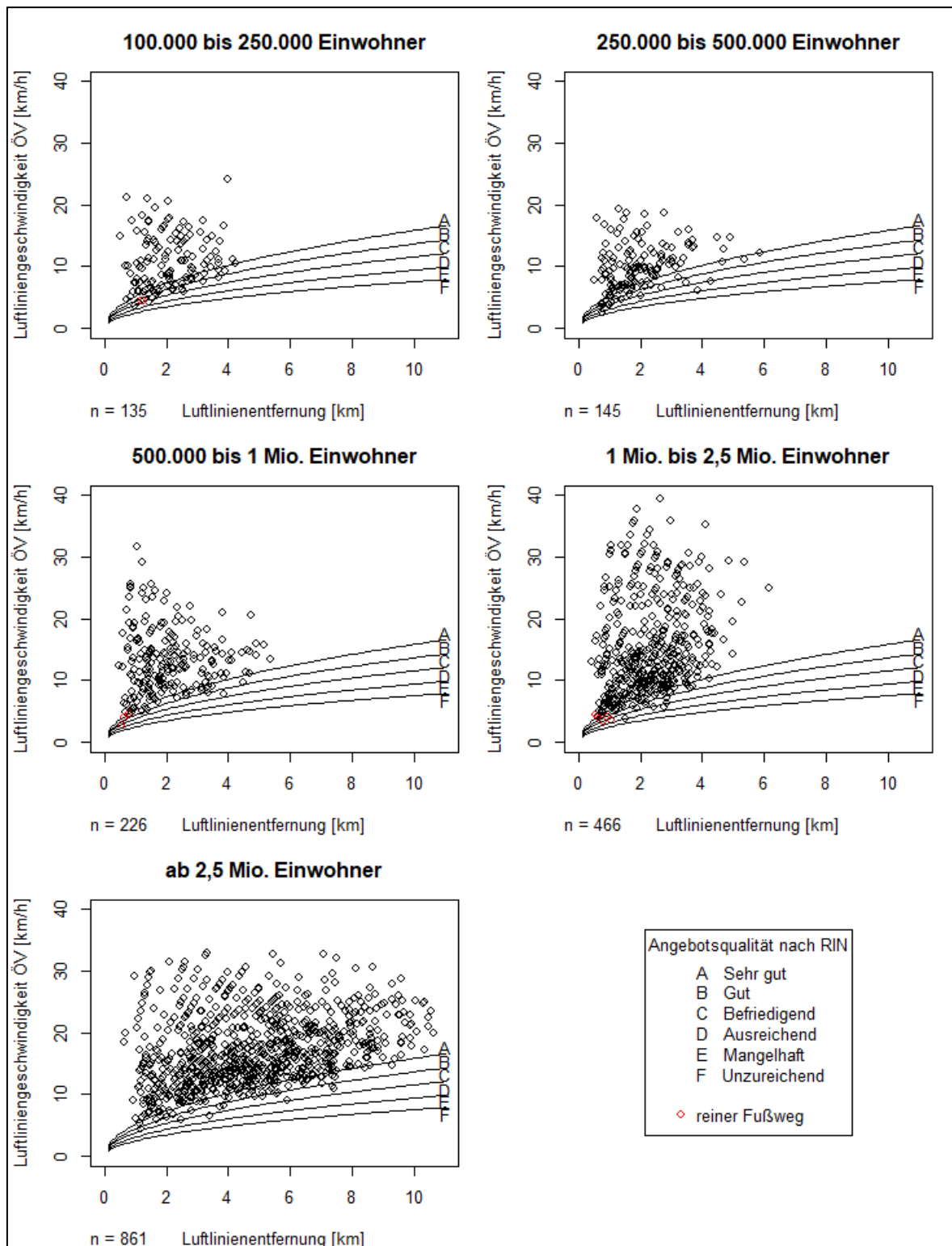
Eine weitere Beobachtung aus Abbildung 18 ist, dass die Luftliniengeschwindigkeit in den Stadtkategorien bis 500.000 Einwohner maximale Werte von ca. 20 km/h und in den größeren Stadtkategorien maximale Werte zwischen 30 und 40 km/h erreicht.

Abbildung 18: Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit ÖV nach RIN



Quelle Darstellung: Eigene Darstellung. Quelle Kurvenparameter: [1, S. 50]

Abbildung 19: Luftliniengeschwindigkeit ÖV je Stadtkategorie



Quelle: Eigene Darstellung

3.5 Busverkehr

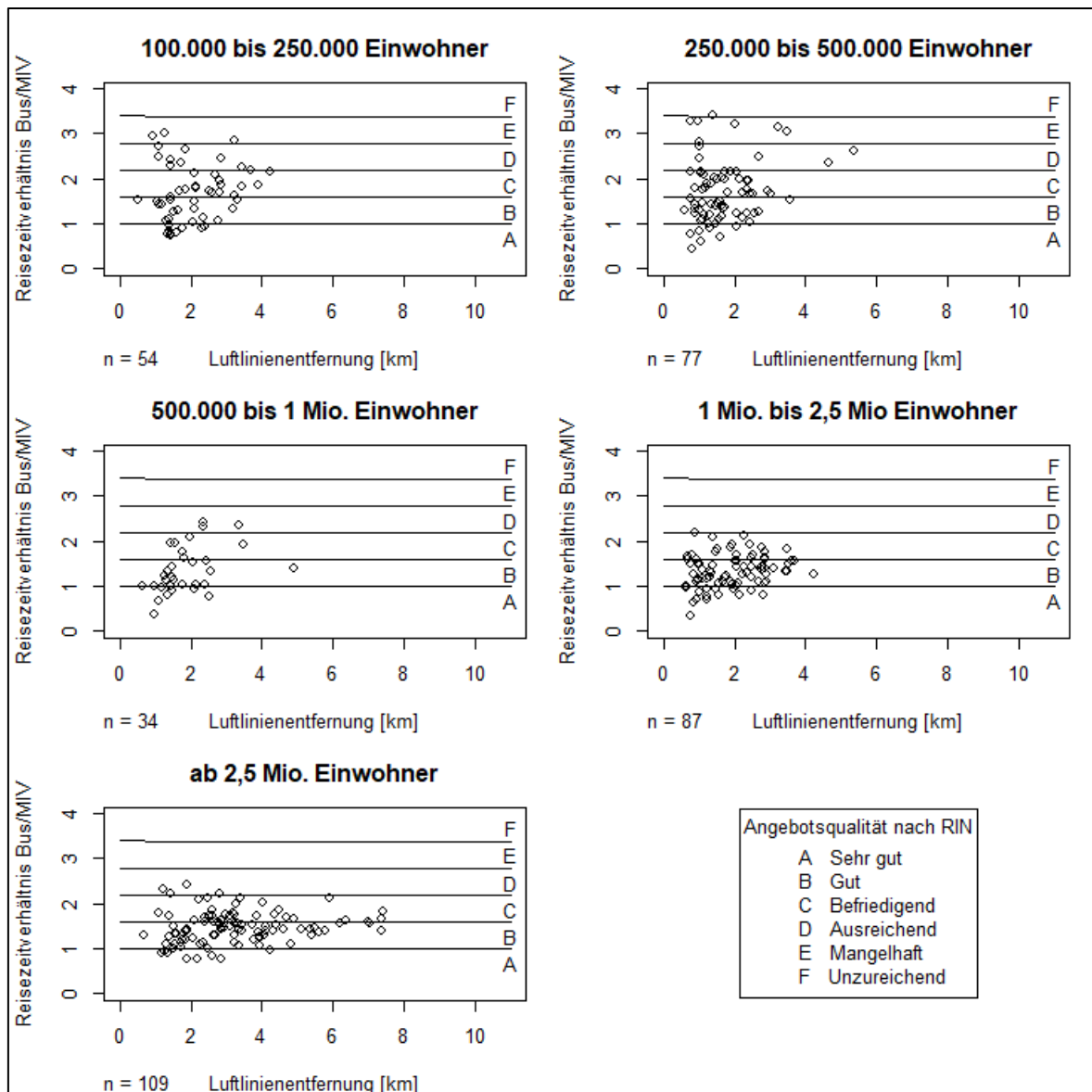
Von 1.833 ÖV-Routen wurden 361 Routen (20 %) ausschließlich mit dem Verkehrsmittel Bus zurückgelegt. Dies führt in einigen Stadtkategorien zu einer geringen Anzahl Routen, die

bewertet wurden. Beispielsweise wurden in der Stadtkategorie 500.000 bis 1 Million Einwohner nur 34 Routen mit dem Bus berechnet. Für die Bewertung von Reisezeitverhältnis und Luftliniengeschwindigkeit wurden die gleichen Grenzwerte der Qualitätsstufen wie beim ÖPNV allgemein verwendet.

3.5.1 Reisezeitverhältnis

Abbildung 20 zeigt das Reisezeitverhältnis Bus/MIV. Im Vergleich zum Reisezeitverhältnis ÖV/MIV gibt es hier insbesondere in der Stadtkategorie ab 2,5 Millionen Einwohner weniger Werte unterhalb von 0,5 und 1. Kürzere Reisezeiten des Busverkehrs gegenüber dem MIV können unter anderem durch separate Führung auf Bussonderfahrstreifen und Sperrung von Straßen für den MIV erreicht werden. Durch die Verwendung von Fahrplandaten für die Routenberechnung werden jedoch auch im Busverkehr keine Verspätungen berücksichtigt, sodass ein niedriges Reisezeitverhältnis Bus/MIV auch durch die Methode der Reisezeitermittlung entstehen kann.

Abbildung 20: Reisezeitverhältnis Bus/MIV je Stadtkategorie

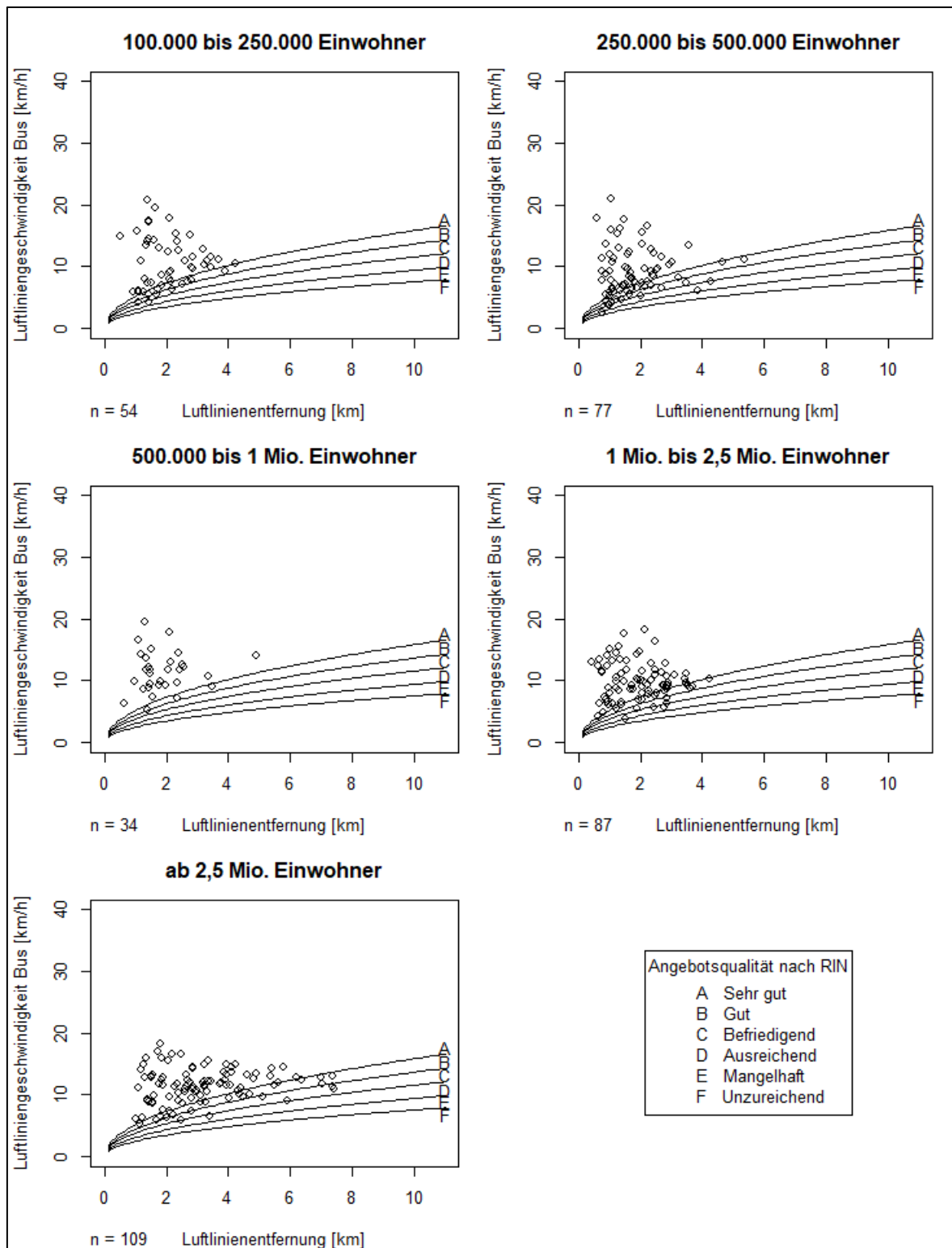


Quelle: Eigene Darstellung

3.5.2 Luftliniengeschwindigkeit

Wie Abbildung 21 zu entnehmen ist, erreicht die Luftliniengeschwindigkeit des Busverkehrs in allen Städten maximale Werte von ca. 20 km/h. Die erzielten Werte von 30 bis 40 km/h im gesamten ÖPNV sind also auf die schienengebundenen Verkehrsmittel zurückzuführen. Abgesehen von der unterschiedlichen Anzahl der Werte in den verschiedenen Stadttypen ergeben sich keine grundsätzlich verschiedenen Diagramme je Stadttyp. Ein Zusammenhang zwischen Luftliniengeschwindigkeit und Stadtgröße lässt sich nicht erkennen.

Abbildung 21: Luftliniengeschwindigkeit Bus je Stadtkategorie



Quelle: Eigene Darstellung

3.6 Radverkehr

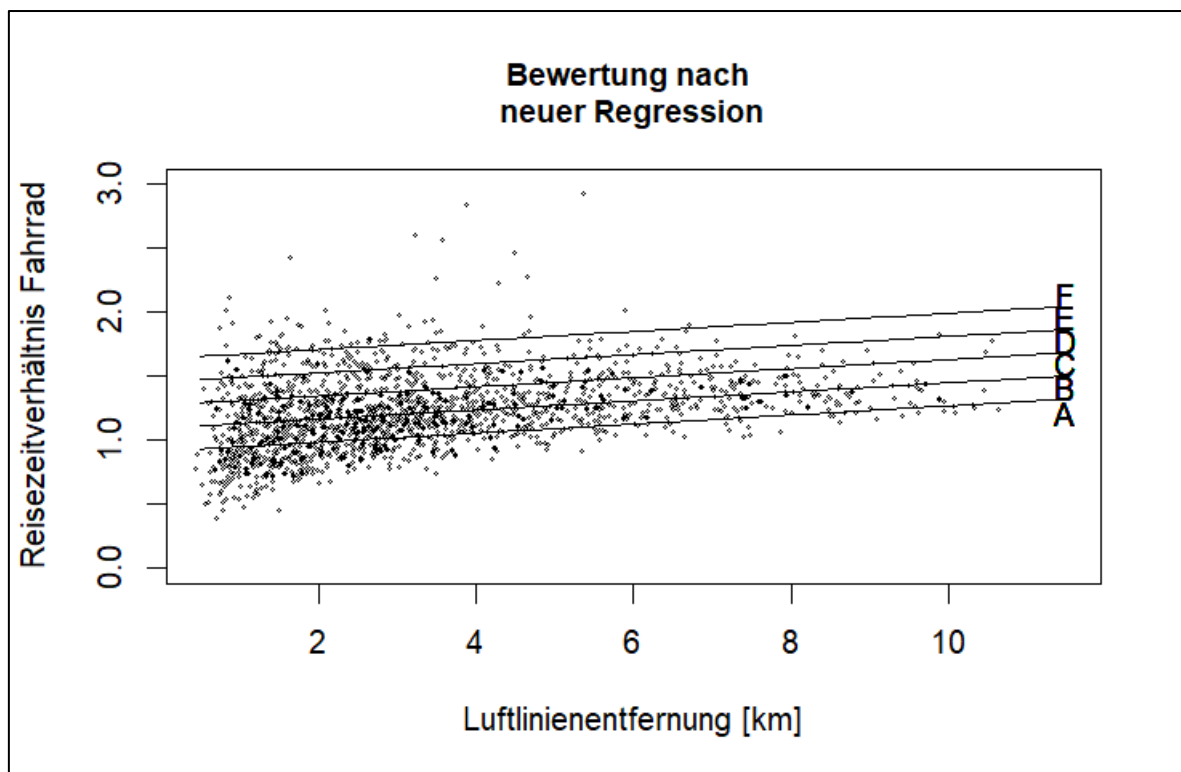
3.6.1 Reisezeitverhältnis

Das Verkehrsmittel Fahrrad wurde in den RIN nicht untersucht. Daher wurde eine Regressionsgerade für das Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV nach dergleichen Methodik wie für den ÖPNV bestimmt. Die Regressionsgerade bestimmt die Grenze zwischen den Qualitätsstufen B und C. Die weiteren Grenzen wurden so gewählt, dass 80 % der Werte in den Qualitätsstufen A bis C liegen. Im Vergleich zum ÖPNV ist die Steigung der Regressionsgerade positiv. Mit zunehmender Luftlinienentfernung werden die Bewertungskriterien also weniger streng beziehungsweise das Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV nimmt leicht zu.

Tabelle 15: Parameter der Gerade des Reisezeitverhältnisses Fahrrad/MIV

Parameter	SAQ A	SAQ B	SAQ C	SAQ D	SAQ E
Steigung	0,0355	0,0355	0,0355	0,0355	0,0355
Y-Abschnitt	0,9171	0,7361	1,2791	1,4601	1,6411

Abbildung 22: Qualitätsstufen des Reisezeitverhältnisses Fahrrad/MIV

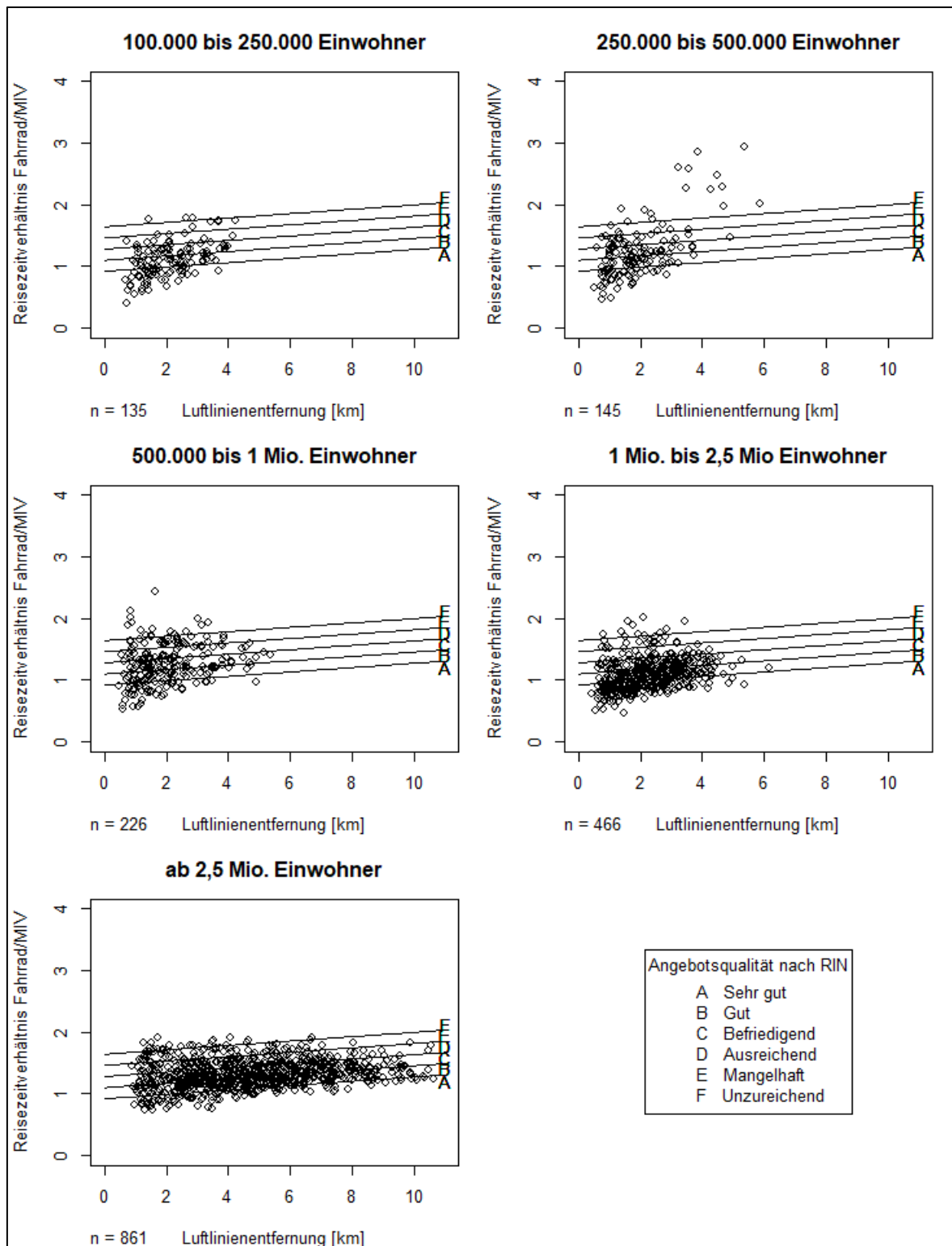


Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 23 zeigt das Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV je Stadtkategorie. In der Stadtkategorie 250.000 bis 500.000 Einwohner liegen ca. 10 Werte zwischen einem Reisezeitverhältnis

von 2 und 3. Diese Werte wurden in Wuppertal gemessen, wo der MIV durch die nahe der Innenstadt gelegenen Autobahn A 46 niedrige Reisezeiten erreicht.

Abbildung 23: Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV je Stadtkategorie



Quelle: Eigene Darstellung

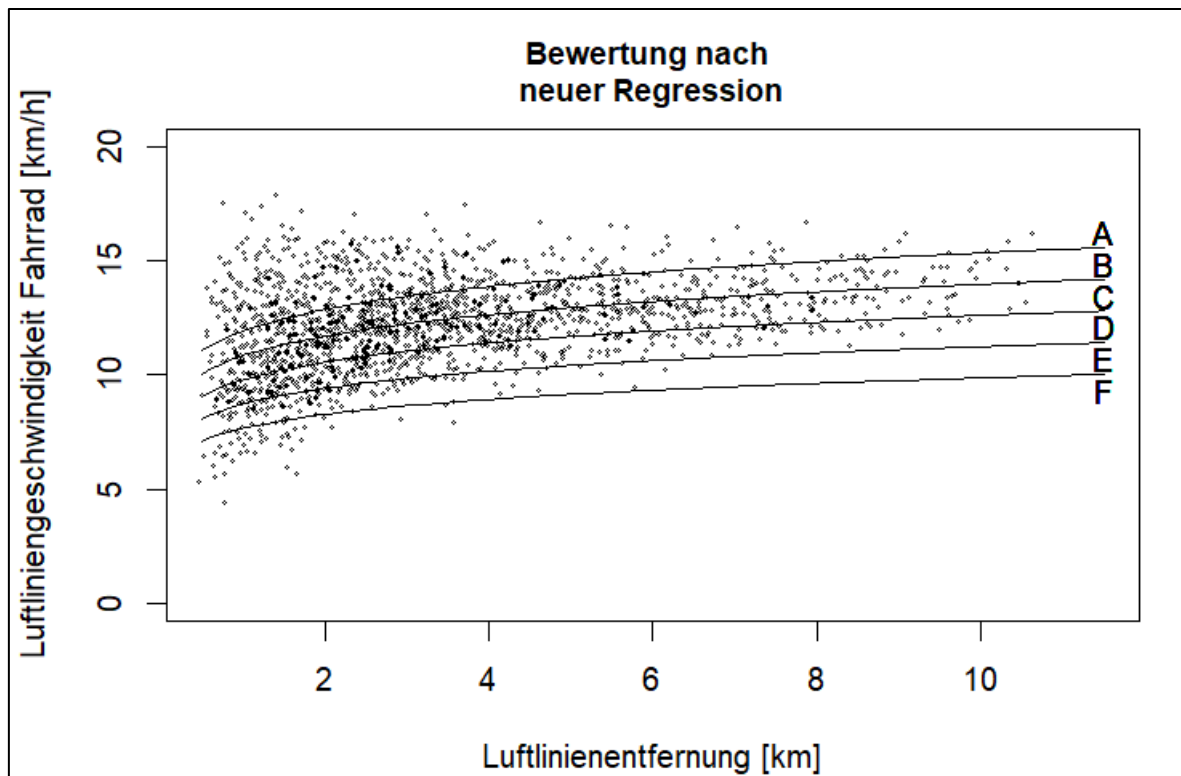
3.6.2 Luftliniengeschwindigkeit

Die Luftliniengeschwindigkeit des Radverkehrs wurde nach der gleichen Methode wie die des MIV bewertet. In Abbildung 25 ist kein grundsätzlicher Unterschied in der Luftliniengeschwindigkeit in Abhängigkeit der Stadtgröße zu erkennen. Zusätzlich zu den in Tabelle 16 ermittelten Parametern für die Kurven der Qualitätsstufen gibt es eine Vorgabe für die angestrebte Fahrtgeschwindigkeit auf innergemeindlichen Radhauptverbindungen in den RIN von 15 bis 20 km/h [30, S. 10]. Diese Geschwindigkeit ist nicht mit der Luftliniengeschwindigkeit gleichzusetzen, aber kann zu Vergleichszwecken dienen. Die Luftliniengeschwindigkeit wird meist unter diesem Wert liegen, da sie durch Wartezeiten an Knotenpunkten und Umwege beeinflusst wird. Eine Luftliniengeschwindigkeit von 15 bis 20 km/h bedeutet also, dass die berechnete Route sehr direkt geführt wird und wenig Wartezeiten enthält. Höhere Werte sind dagegen nicht zu erwarten, da Google die Radverkehrsrouten vermutlich mit einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 19 km/h berechnet. Die Fahrgeschwindigkeit von Google wurde durch Analyse einiger ausgewählten Routen geschätzt.

Tabelle 16 Parameter der Kurven der Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit Fahrrad

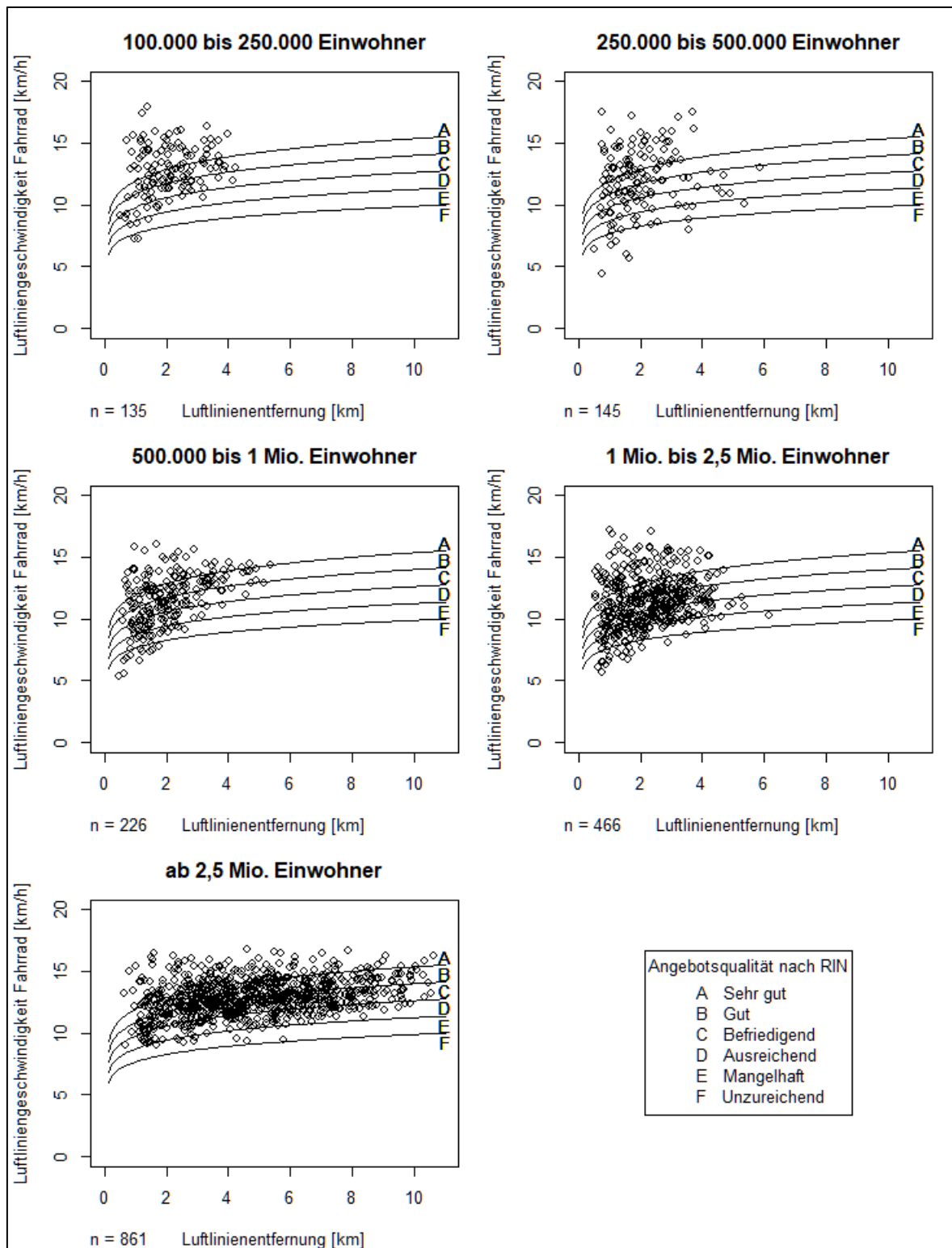
Parameter	SAQ A	SAQ B	SAQ C	SAQ D	SAQ E
a	0,0838	0,0920	0,1020	0,1145	0,1304
b	-0,1099	-0,1099	-0,1099	-0,1099	-0,1099
c	0	0	0	0	0

Abbildung 24: Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit Fahrrad



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 25: Luftliniengeschwindigkeit Fahrrad je Stadtkategorie



Quelle: Eigene Darstellung

3.7 Vergleich Google Maps und HERE Maps

Für den Vergleich von Google Maps und HERE Maps werden nicht die berechneten Kenngrößen miteinander verglichen, sondern die unveränderten Reisezeiten des MIV, ÖV und Radverkehrs. Diese sind in Abbildung 26 bis Abbildung 28 für jede Stadt dargestellt.

Wie Abbildung 26 zu erkennen ist, ist die Reisezeit des MIV in jeder Stadt bei HERE Maps niedriger als bei Google Maps. Die Anzahl der Ausreißer unterscheidet sich jedoch kaum bei den beiden Kartendiensten. Es lässt sich allerdings keine Aussage darüber machen, welcher Kartendienst die Reisezeiten der Realität besser simuliert.

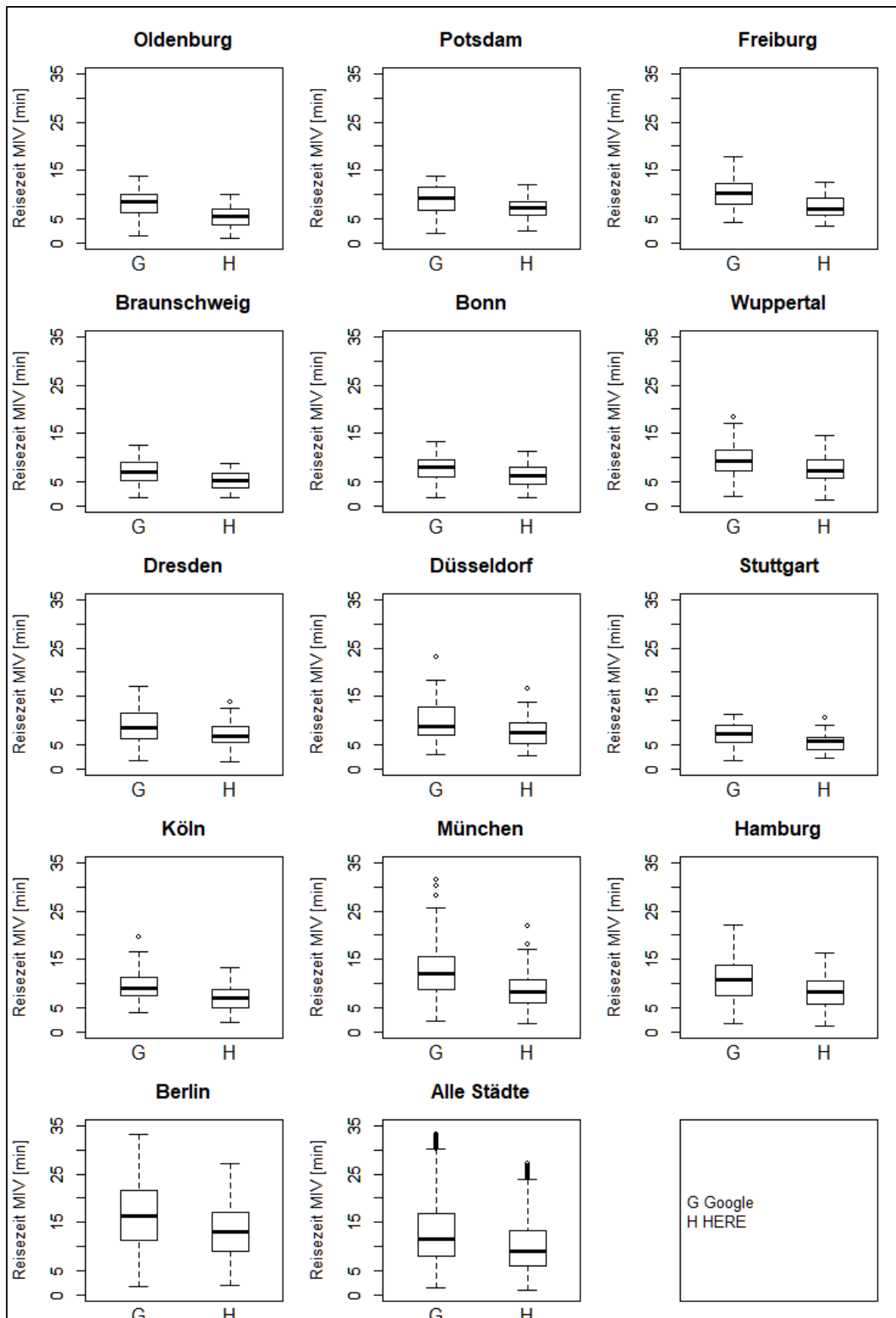
Der Vergleich der Reisezeiten im ÖV gestaltet sich als komplizierter, da bei HERE Maps grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten zur Berechnung der Reisezeiten bestehen: Mit dem sogenannten Estimated Routing werden ÖV-Routen basierend auf historischen Daten berechnet und kann damit auch Verspätungen im ÖV berücksichtigen. Das Timetable Routing berechnet dagegen wie bei Google Maps die Reisezeiten anhand der von den Verkehrsunternehmen veröffentlichten Fahrplänen. Wie Abbildung 27 zeigt, sind die Reisezeiten beim Estimated Routing von HERE Maps bei allen Städten außer München, Hamburg und Berlin niedriger als beim Timetable Routing von HERE Maps. Dies ist unerwartet, da daraus folgt, dass durch die Hinzunahme historischer Daten die Fahrgäste schneller reisen als nach der Fahrplanauskunft von HERE Maps. Darüber hinaus wurden beim Estimated Routing Unregelmäßigkeiten in der Innenstadt von Freiburg festgestellt – hier liegen über 50 % der ÖV-Reisezeiten im Bereich zwischen 1 und 8 Stunden. Hier wird ein Fehler in der Datengrundlage von HERE Maps vermutet.

Im Vergleich des Timetable Routing von HERE Maps und dem ÖV-Routing von Google Maps zeigt sich, dass die Reisezeiten bei HERE Maps in alle Städten höher sind.

Der Vergleich der Reisezeiten im Radverkehr von Google Maps und HERE Maps in Abbildung 28 zeigt, dass bei HERE Maps etwas höhere Reisezeiten berechnet werden.

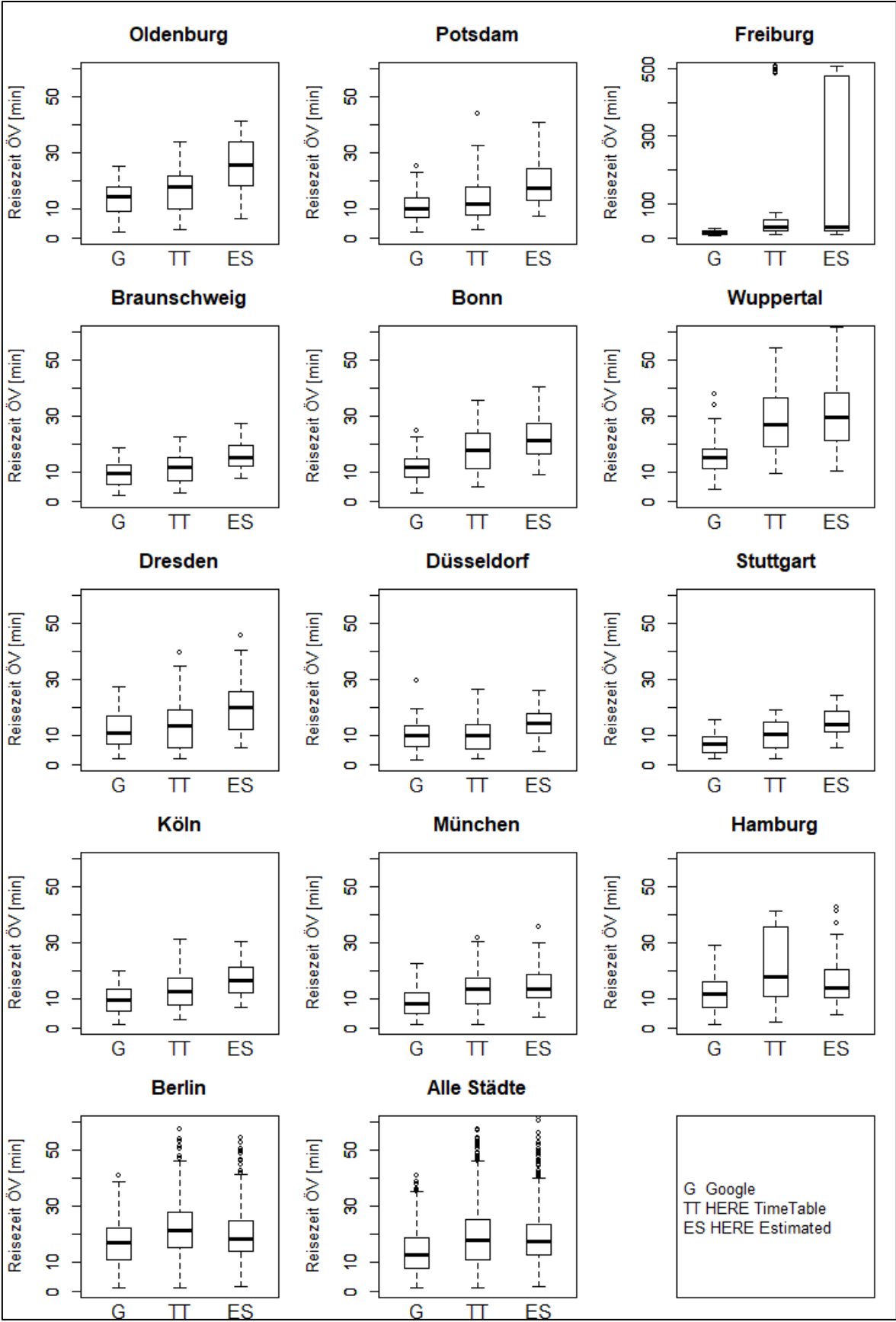
Über alle Verkehrsmittel hinweg zeigt sich, dass die Reisezeiten mit zunehmender Größe des Untersuchungsraums steigen, da auch die Luftlinienentfernungen zunehmen.

Abbildung 26: Vergleich der Reisezeit im MIV von Google und HERE Maps



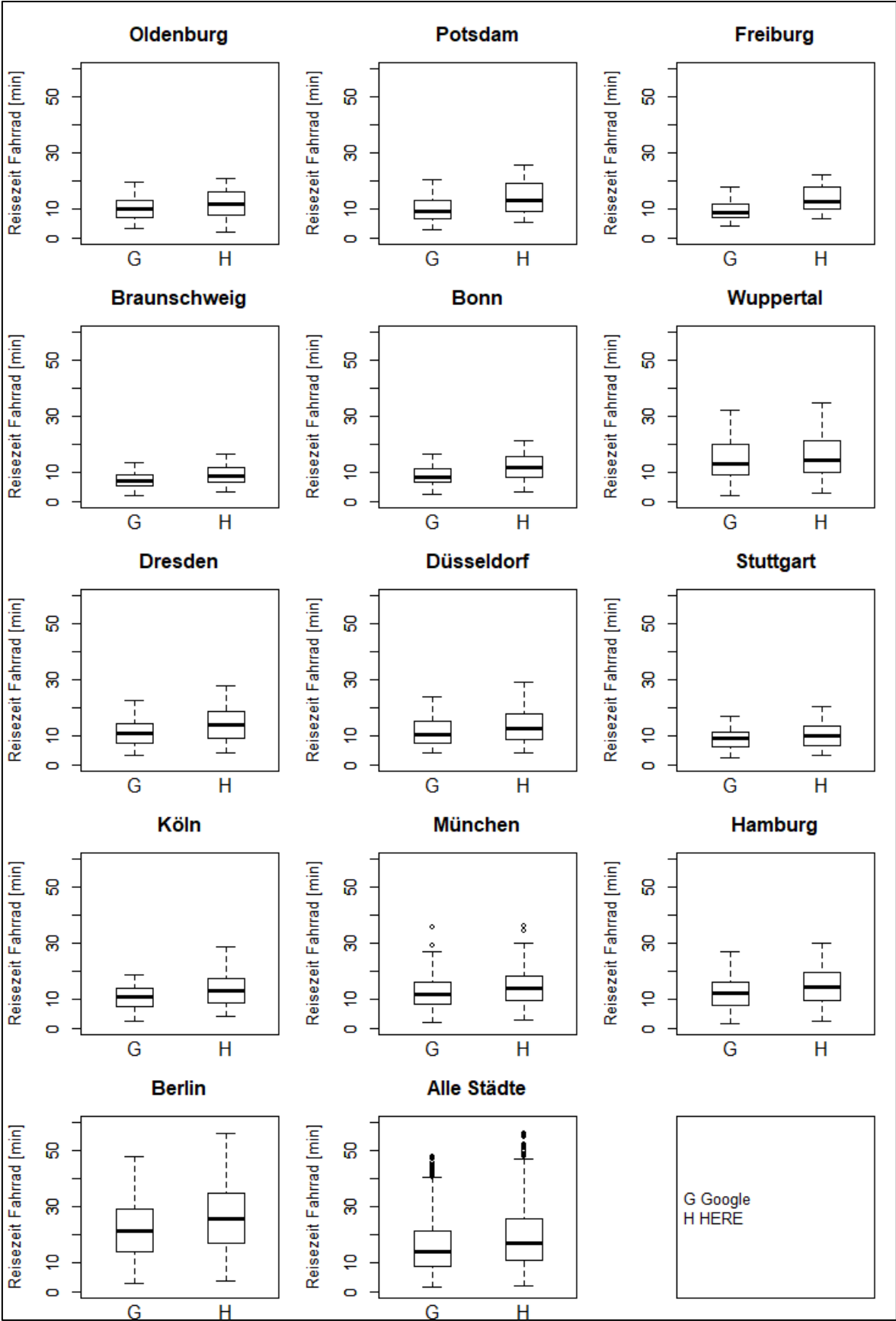
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 27: Vergleich der Reisezeit im ÖV von Google und HERE Maps



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 28: Vergleich der Reisezeit im Radverkehr von Google und HERE Maps



Quelle: Eigene Darstellung

3.8 Zusammenfassung

Bezugnehmend auf die Frage aus der Einleitung, welches Verkehrsmittel in welcher Stadtkategorie für eine geringe Reisezeit gewählt werden sollte, wird festgestellt: in Städten bis 1 Million Einwohner werden meist im MIV die höchsten Luftliniengeschwindigkeiten berechnet. Die Luftliniengeschwindigkeit des Radverkehrs liegt hier meist zwischen MIV und ÖPNV. Nur in der Freiburger Innenstadt ist das Fahrrad schneller und in der Stuttgarter Innenstadt der ÖPNV. In Städten ab 1 Million Einwohner sind MIV und ÖPNV laut Reisezeitverhältnis oft ähnlich schnell und das Fahrrad etwas langsamer.

Insgesamt lässt sich sagen, dass trotz Kategorisierung der Städte große Unterschiede innerhalb einer Stadtkategorie bestehen können und die Stadtkategorien damit sehr heterogen sind.

Bei MIV und ÖPNV zeigt sich ein Zusammenhang zwischen Stadtgröße und Reisezeit. In den Städten ab 1 Million Einwohner hat der MIV meist eine niedrigere Luftliniengeschwindigkeit als in den kleineren Städten und der ÖV eine höhere Luftliniengeschwindigkeit als in den kleineren Städten. Dies zeigt sich auch im Reisezeitverhältnis ÖV/MIV.

Allerdings kann nicht grundsätzlich gesagt werden, dass mit zunehmender Stadtgröße das Reisezeitverhältnis ÖV/MIV sinkt. Städte zwischen 250.000 und 500.000 Einwohner haben im Mittel das höchste Reisezeitverhältnis ÖV/MIV. Erst ab einer Stadtgröße von 500.000 Einwohnern steigt die Luftliniengeschwindigkeit des ÖV leicht an, was eventuell durch die vorhandenen Schnellbahnsysteme erklärt werden kann. Betrachtet man nur Routen, die mit dem Bus zurückgelegt wurden, zeigen sich kaum Unterschiede zwischen den Stadttypen – der Bus hat in allen Städten ähnliche Luftliniengeschwindigkeiten.

Im Radverkehr lässt sich kein Zusammenhang zwischen Stadtgröße und Reisezeit erkennen – weder bei der Luftliniengeschwindigkeit noch beim Reisezeitverhältnis Fahrrad/MIV. Vermutlich ist die Reisezeit des Radverkehrs dank separater Radverkehrsinfrastruktur wie zum Beispiel Radweg und Radfahrstreifen wenig abhängig vom Verkehrsaufkommen des MIV, was die ähnliche Luftliniengeschwindigkeit des Radverkehrs in allen Städten begründen könnte.

Aus dem Vergleich von Google Maps und HERE Maps geht hervor, dass HERE Maps trotz umfangreicherer Anpassungsmöglichkeiten in der Routenberechnung Schwächen in der Berechnung von ÖV-Routen hat. Daher wird die Benutzung von Google Maps empfohlen, wenn auch ÖV-Routen berechnet werden sollen.

4 Fazit

Insgesamt konnte mit den ausgewählten Methoden zur Routenberechnung eine detaillierte Analyse der Reisezeiten in urbanen Räumen durchgeführt werden. Es konnten vergleichende Analysen der Reisezeiten der Verkehrssysteme durchgeführt und Zusammenhänge zwischen den Stadtgrößen untersucht werden.

Für die beschriebenen Probleme der Reisezeitermittlung liegen derzeit keine Lösungsansätze vor. In der Zukunft könnte die Verfügbarkeit von Echtzeitdaten des ÖPNV in Online-Kartendiensten in weiteren Städten zunehmen, sodass auch hier die Berücksichtigung von Verspätungen möglich ist. Die beschriebenen Umwege im MIV durch Wendemanöver, um auf die richtige Richtungsfahrbahn zu gelangen, können durch manuelle Nutzung der Online-Kartendienste vermieden werden. In diesem Fall ist jedoch die Berechnung einer Vielzahl von Routen deutlich aufwendiger, da die Automatisierung entfällt.

Die Auswirkungen dieser Probleme der Reisezeitermittlung führen insgesamt vermutlich zu einer geringen Verbesserung der Reisezeiten des ÖPNV und einer geringen Verschlechterung der Reisezeiten des MIV, sodass die Reisezeit des MIV gegenüber ÖPNV und Fahrrad etwas schlechter bewertet wird, als sie tatsächlich ist.

Die gewählte Methode der Bewertung nach den RIN erscheint grundsätzlich geeignet, allerdings sollten die vorgeschlagenen Werte für die Qualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit nicht übernommen werden, da sie auf Basis einer anderen Datengrundlage und Definition von Reisezeit berechnet wurden und die Entfernungen in dieser Arbeit deutlich niedriger sind.

Über die aggregierte Datenauswertung je Stadtkategorie hinaus ist mit den gewonnenen Daten auch die Analyse einzelner Städte und Start-Ziel-Relationen möglich. Zum Beispiel können in einer vertiefenden Analyse eines lokalen Verkehrsnetzes Stärken und Schwächen der Verkehrsinfrastruktur identifiziert werden und für die Maßnahmenplanung genutzt werden. Außerdem kann die Methodik dank Verfügbarkeit der Online-Kartendienste in vielen Ländern auch auf andere Arten von Untersuchungsräume angewandt werden, ohne dass ein eigenes Verkehrsmodell erzeugt werden muss. Beispielsweise können auch die Reisezeiten zwischen Ober- und Mittelzentren in einer Region untersucht werden oder Untersuchungsräume in anderen Ländern gewählt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung*. Köln, 2008.
- [2] C. Reicher, *Städtebauliches Entwerfen*. Wiesbaden, 2016.
- [3] „Laufende Raumbeobachtung - Raumabgrenzungen. Raumtypen 2010“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/Raumtypen2010_vbg/Raumtypen2010_alt.html?nn=443270. [Zugegriffen: 17-Mai-2017].
- [4] J. Jarass, *Wohnstandortpräferenzen und Mobilitätsverhalten*. Wiesbaden, 2012.
- [5] MetadatenVerbund., „Bevölkerungsdichte Hamburg.“ [Online]. Verfügbar unter: [http://metaver.de/kartendienste;jsessionid=2F704BA47EAB0E12B1226E758A9AD-DEE?lang=de&topic=anbieter&bgLayer=webatlasde_light&layers=WMS||Bevoelkerungsdichte%20\(31.12.2014\)||https://geodienste.hamburg.de/HH_WMS_Statistik-Stadtteile_Bevoelkerung?||2||1.3.0||true&X=5936001.58&Y=565101.25&zoom=8&layers_opacity=0.7](http://metaver.de/kartendienste;jsessionid=2F704BA47EAB0E12B1226E758A9AD-DEE?lang=de&topic=anbieter&bgLayer=webatlasde_light&layers=WMS||Bevoelkerungsdichte%20(31.12.2014)||https://geodienste.hamburg.de/HH_WMS_Statistik-Stadtteile_Bevoelkerung?||2||1.3.0||true&X=5936001.58&Y=565101.25&zoom=8&layers_opacity=0.7). [Zugegriffen: 23-Mai-2017].
- [6] „Laufende Stadtbeobachtung - Raumabgrenzungen. Stadt- und Gemeindetypen in Deutschland“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/StadtGemeindetyp/StadtGemeindetyp_node.html. [Zugegriffen: 17-Mai-2017].
- [7] Statistische Ämter des Bundes und der Länder, „Gemeindeverzeichnis Online“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/gemeinde-verz.asp?G=Ham>. [Zugegriffen: 19-Mai-2017].
- [8] G.-A. Ahrends, *Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten“ -SrV 2013. Städtevergleich*. Dresden, 2015.
- [9] S. M. Turner, W. L. Eisele, R. J. Benz, und D. J. Holdener, *Travel Time Data Collection Handbook*. Springfield, Virginia, USA, 1998.
- [10] R. Follmer u. a., *Mobilität in Deutschland 2008. Erhebungsunterlagen*. Bonn, 2010.
- [11] M. Friedrich, „Angebotsqualität in Straßennetzen - Bewertung und Mängelanalyse“, gehalten auf der 2. Straßenverkehrsforum der DVWG, München, 2005.
- [12] J. F. Ehmke, S. Meisel, und D. C. Mattfeld, „Floating car based travel times for city logistics“, Apr. 2012.
- [13] S. Wisniewski, „The theoretical and real internal transport accessibility of Lodz“, Nr. T.61. Z3, 2016.
- [14] F. Wang und Y. Xu, „Estimating O-D Travel Time Matrix by Google Maps API: Implementation, Advantages, and Implications“, Nr. Volume 17, 2011, Dez. 2011.
- [15] P. Fischer und P. Hofer, *Lexikon der Informatik*, 14. Aufl. Berlin, 2008.
- [16] D. Krajzewicz und D. Heinrichs, „UrMo Accessibility Computer“, gehalten auf der The Eighth International Conference on Advances in System Simulation, Rom, 2016.
- [17] K. Pokonieczny, J. Tomala, und A. Moscicka, „Comparison of the travel time availability determined with the use of various web services“, Nr. Volume 15, No 2(77), 2017.
- [18] OpenStreetMap-Mitwirkende, „OpenStreetMap“. [Online]. Verfügbar unter: openstreetmap.org. [Zugegriffen: 24-Aug-2017].
- [19] M. Socharoentum und H. A. Karimi, „A Comparative Analysis of Routes Generated by Web Mapping APIs“, Nr. Vol. 42, 2015, Nov. 2014.

- [20] „Entwickler-Leitfaden | Google Maps Directions API“, *Google Developers*. [Online]. Verfügbar unter: <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/intro?hl=de>. [Zugegriffen: 19-Juni-2017].
- [21] „Preise und Nutzungsmodelle | Preise und Nutzungsmodelle für Google Maps APIs“, *Google Developers*. [Online]. Verfügbar unter: <https://developers.google.com/maps/pricing-and-plans/?hl=de>. [Zugegriffen: 21-Juni-2017].
- [22] „Calculate Route - Routing API - HERE Developer“. [Online]. Verfügbar unter: <https://developer.here.com/rest-apis/documentation/routing/topics/resource-calculate-route.html>. [Zugegriffen: 21-Juni-2017].
- [23] „Pricing and Plans - HERE Developer“. [Online]. Verfügbar unter: <https://developer.here.com/plans>. [Zugegriffen: 21-Juni-2017].
- [24] „Route - GET“, *MapQuest API Documentation*. [Online]. Verfügbar unter: <https://developer.mapquest.com/documentation/directions-api/route/get/>. [Zugegriffen: 21-Juni-2017].
- [25] „MapQuest Developer Network | Pricing & Plans“. [Online]. Verfügbar unter: <https://developer.mapquest.com/plans>. [Zugegriffen: 21-Juni-2017].
- [26] „Get Started with Bing Maps API key“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.microsoft.com/maps/create-a-bing-maps-key.aspx>. [Zugegriffen: 21-Juni-2017].
- [27] „Calculate a Route | Bing Maps“. [Online]. Verfügbar unter: <https://msdn.microsoft.com/de-de/library/ff701717.aspx>. [Zugegriffen: 21-Juni-2017].
- [28] B. Schwarze, *Erreichbarkeitsindikatoren in der Nahverkehrsplanung*. Dortmund, 2005.
- [29] R Core Team and contributors worldwide, „R: Box Plots“. [Online]. Verfügbar unter: <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/graphics/html/boxplot.html>. [Zugegriffen: 18-Sep-2017].
- [30] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen*. Köln, 2010.
- [31] Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen, „Karte der Einwohnerdichte Berlins 2015 (Ausgabe 2016)“, 2016. [Online]. Verfügbar unter: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/karten/pdf/06_06_2015.pdf. [Zugegriffen: 18-Mai-2017].
- [32] Stadt München, „Indikatorenatlas München: Einwohnerdichte 2015“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.mstatistik-muenchen.de/indikatorenatlas/atlas.html?indicator=i51&date=2015>. [Zugegriffen: 23-Mai-2017].
- [33] Stadt Köln, „Statistische Daten - Thematische Karte.“ [Online]. Verfügbar unter: <http://www.stadt-koeln.de/politik-und-verwaltung/statistik/statistische-daten-thematische-karte>. [Zugegriffen: 23-Mai-2017].
- [34] Statistisches Amt Stuttgart, „Sozialmonitoring der Landeshauptstadt Stuttgart: Stadtteile“. [Online]. Verfügbar unter: <http://statistik.stuttgart.de/statistiken/sozialmonitoring/atlas/Stadtteile/out/atlas.html>. [Zugegriffen: 23-Mai-2017].
- [35] „Einwohnerdichte Düsseldorf. City Population.“ [Online]. Verfügbar unter: http://www.citypopulation.de/php/germany-dusseldorf_d.php. [Zugegriffen: 20-Sep-2017].
- [36] „Demografiemonitor Dresden.“ [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dresden.de/de/leben/stadtportrait/statistik/demografiemonitor/Demografiemedien/atlas.html>. [Zugegriffen: 20-Sep-2017].

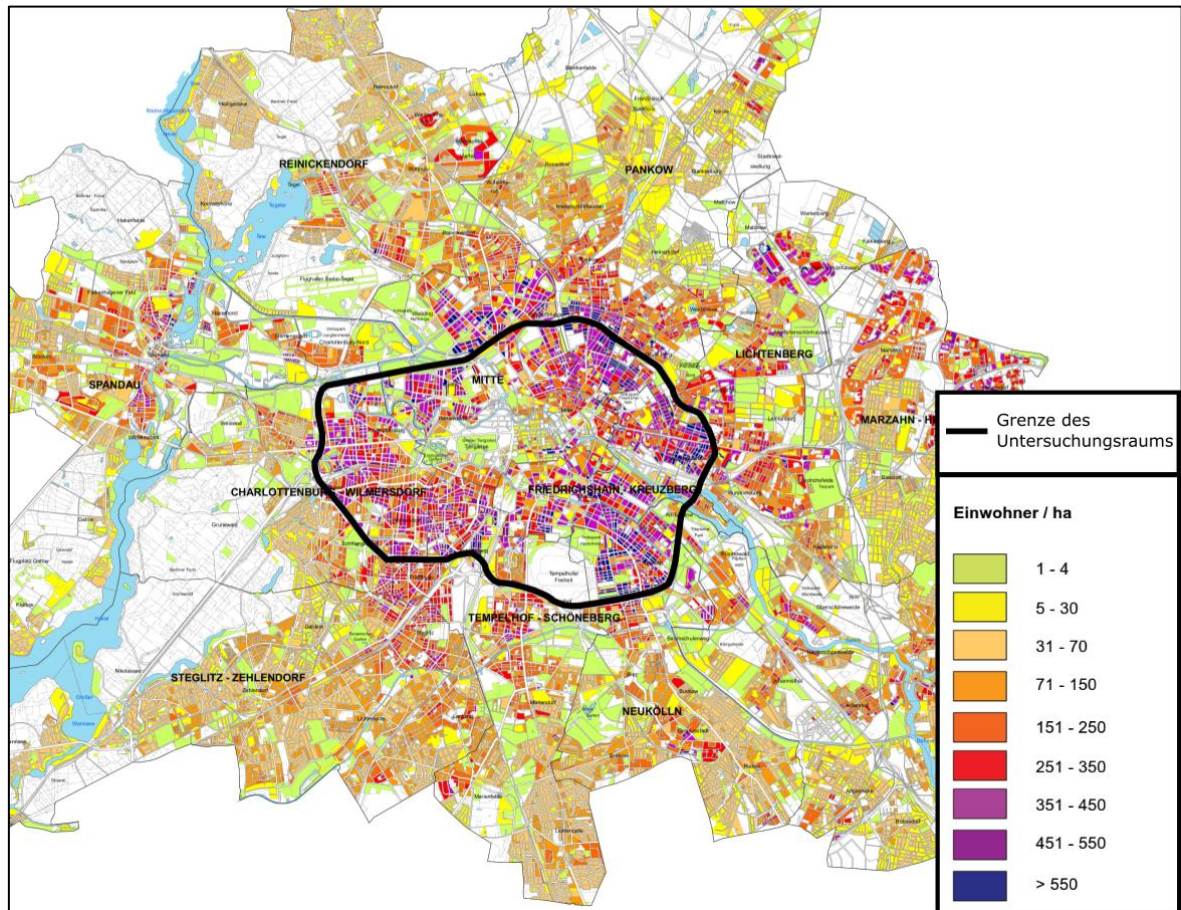
- [37] „Wuppertaler Statistik - Raumbezogene Daten.“ [Online]. Verfügbar unter: https://www.wuppertal.de/rathaus/onlinedienste/rbs_statistik/them_karten_startseite.phtml. [Zugegriffen: 20-Sep-2017].
- [38] Stadt Braunschweig Melderegister, „Statistik-Atlas Braunschweig. Einwohnerdichte 2014“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www3.braunschweig.de/statistik/StatistikAtlas2015/atlas.html>. [Zugegriffen: 07-Okt-2017].
- [39] Stadt Rostock Kommunale Statistikstelle, *Statistisches Jahrbuch der Hansestadt Rostock*. Rostock, 2016.

Anhang

I. Untersuchungsräume

a) Berlin

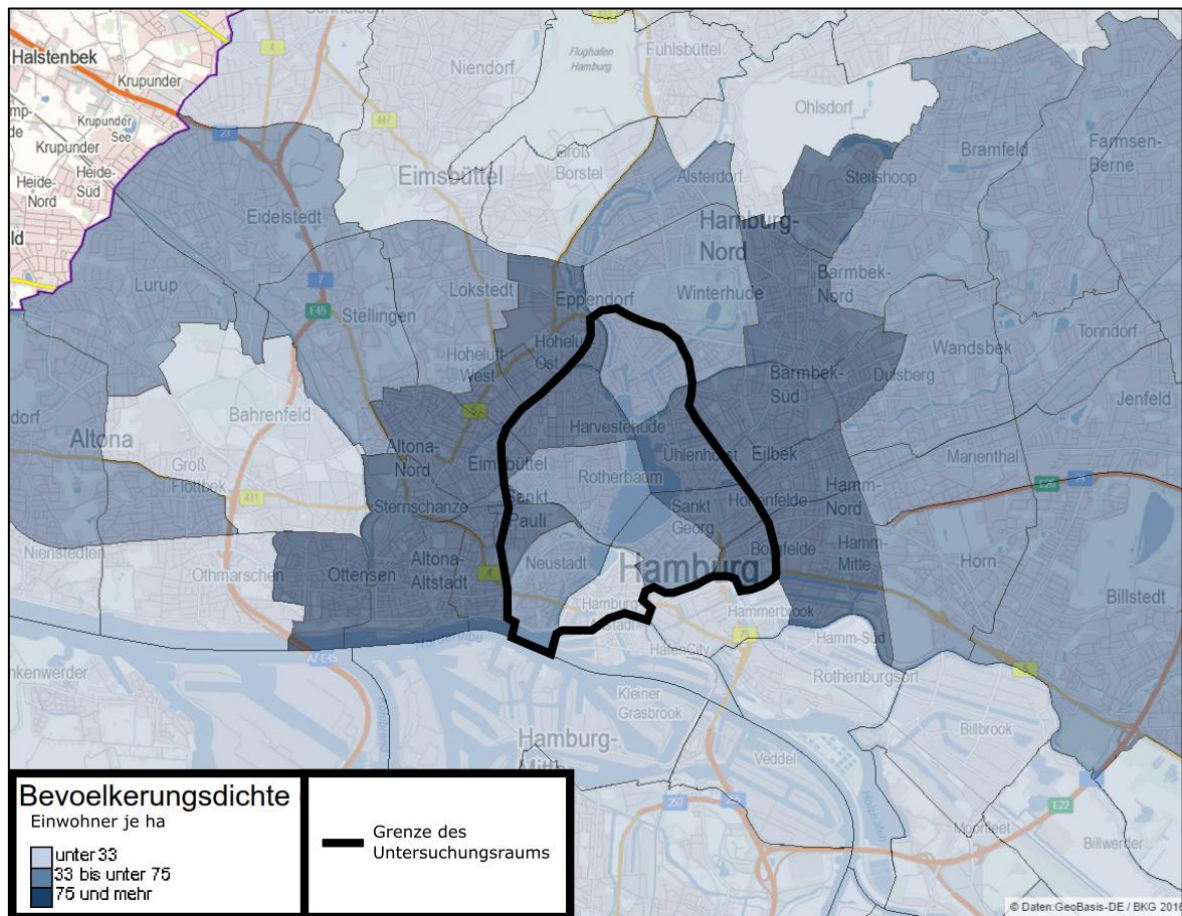
Abbildung 29: Einwohnerdichte Berlin und Untersuchungsraum (S-Bahnring) 2015



Quelle: nach [31]

b) Hamburg

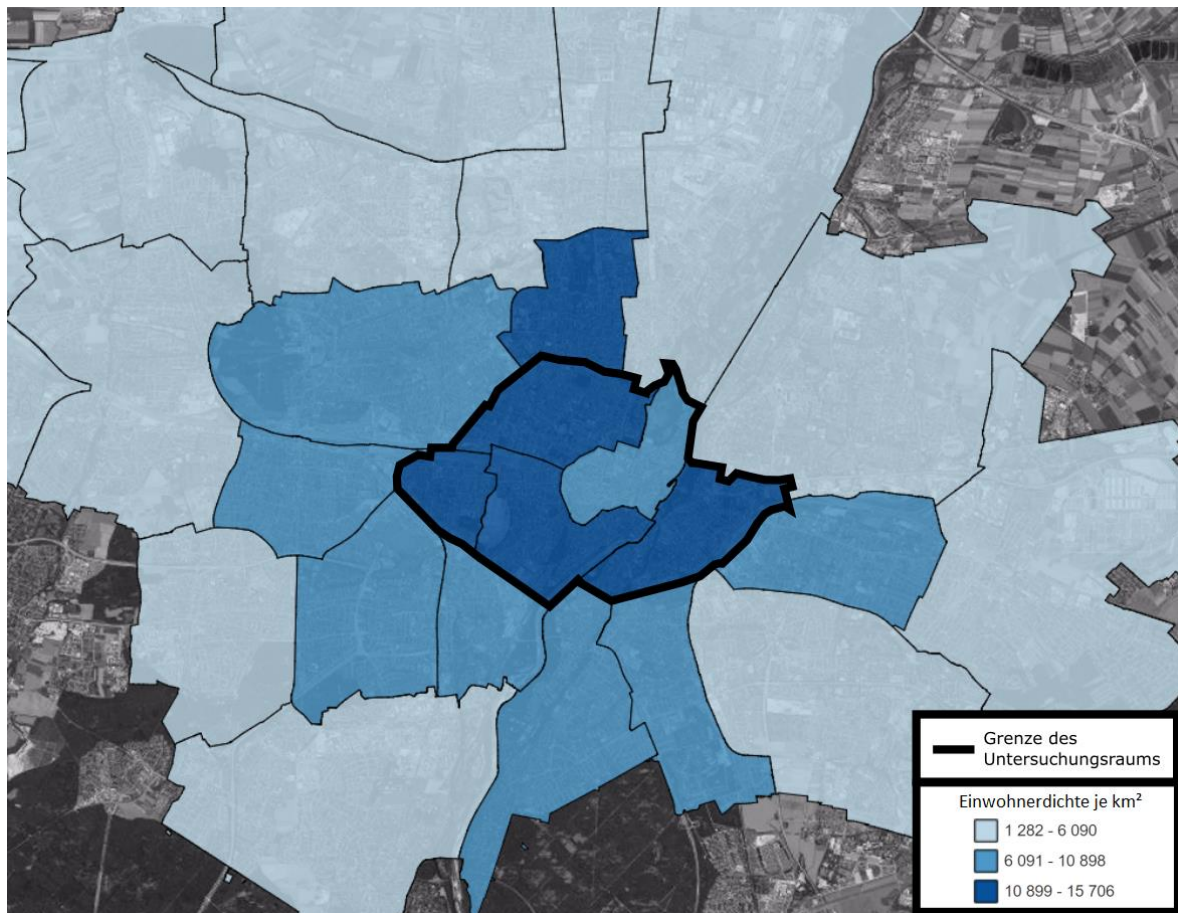
Abbildung 30: Einwohnerdichte Hamburg und Untersuchungsraum 2014



Quelle: [5]

c) München

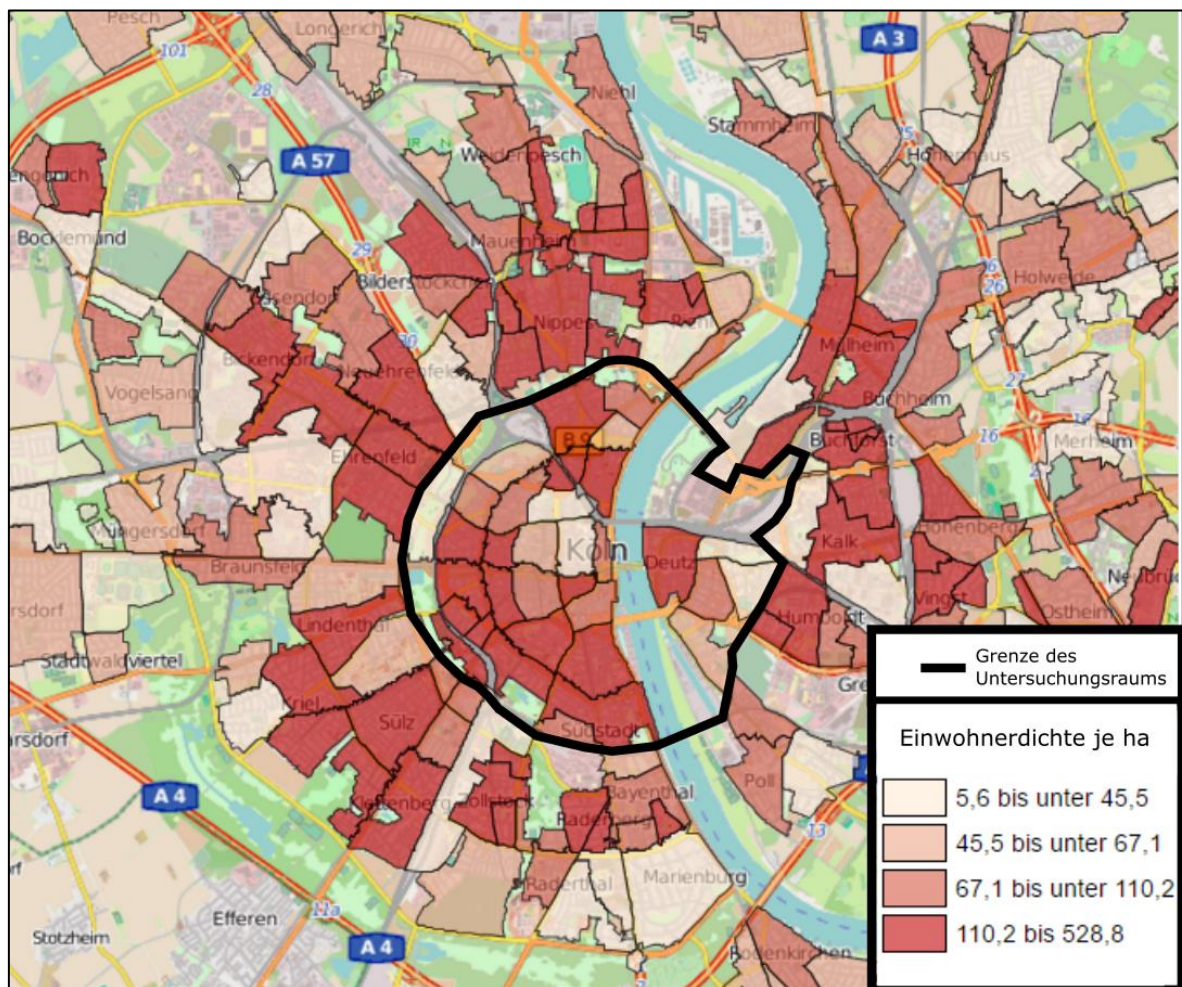
Abbildung 31: Einwohnerdichte München und Untersuchungsraum 2015



Quelle: [32]

d) Köln

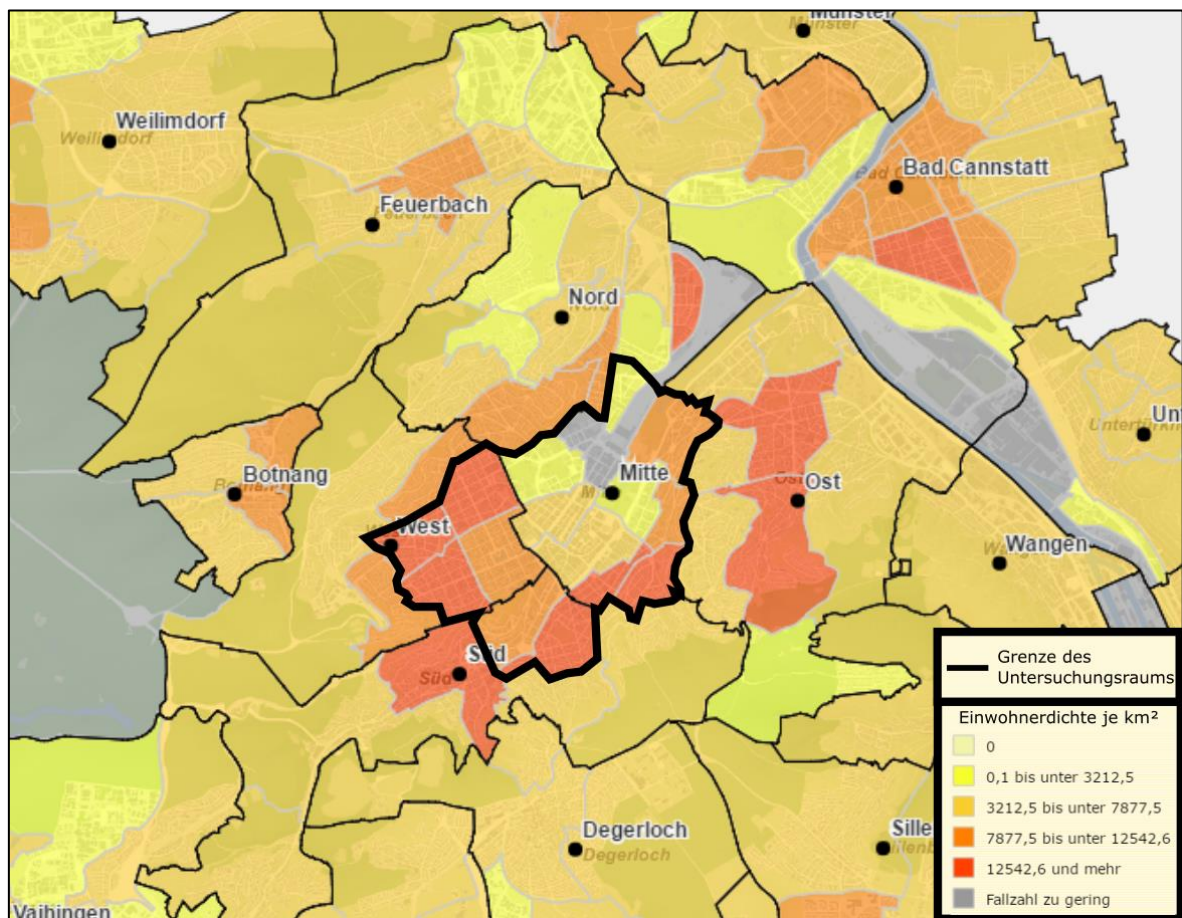
Abbildung 32: Einwohnerdichte Köln und Untersuchungsraum 2015



Quelle: [33]

e) Stuttgart

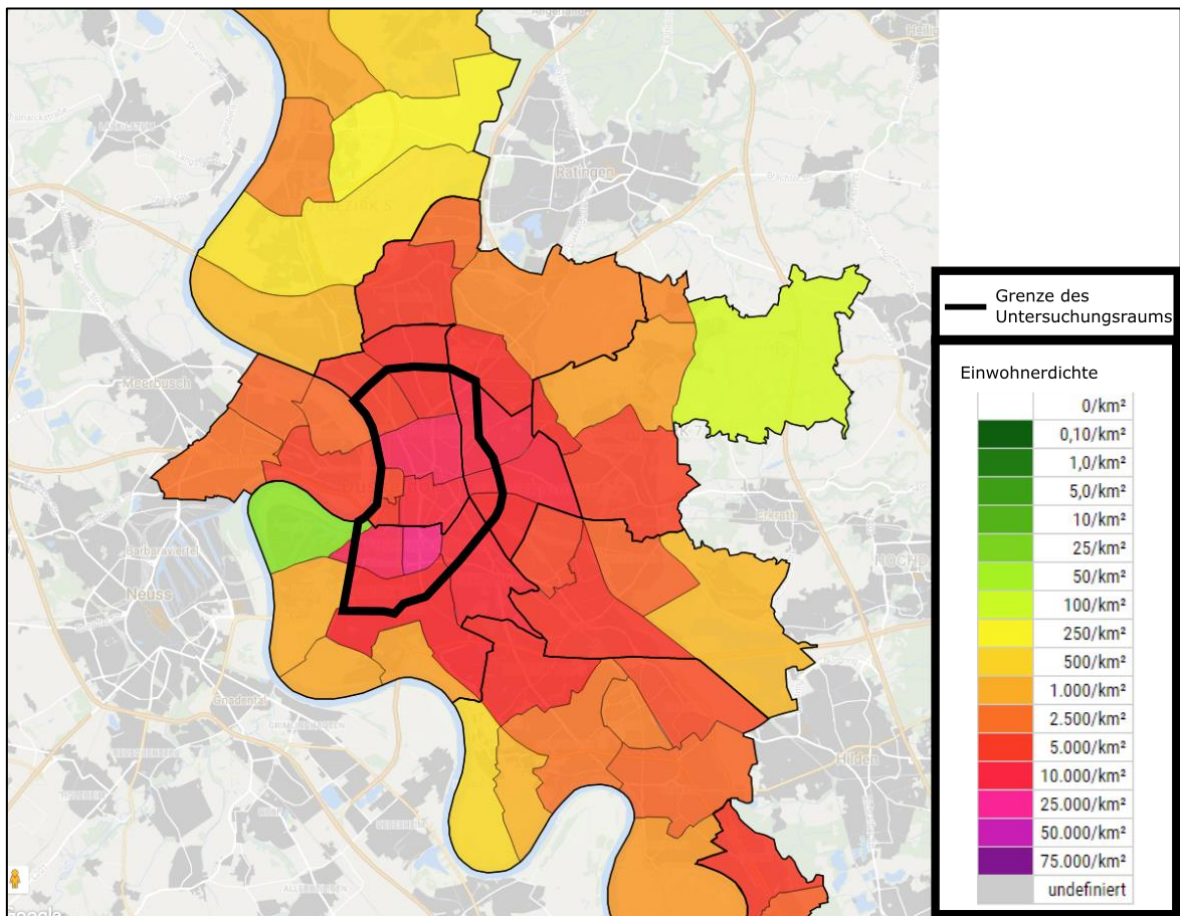
Abbildung 33: Einwohnerdichte Stuttgart und Untersuchungsraum 2014



Quelle: [34]

f) Düsseldorf

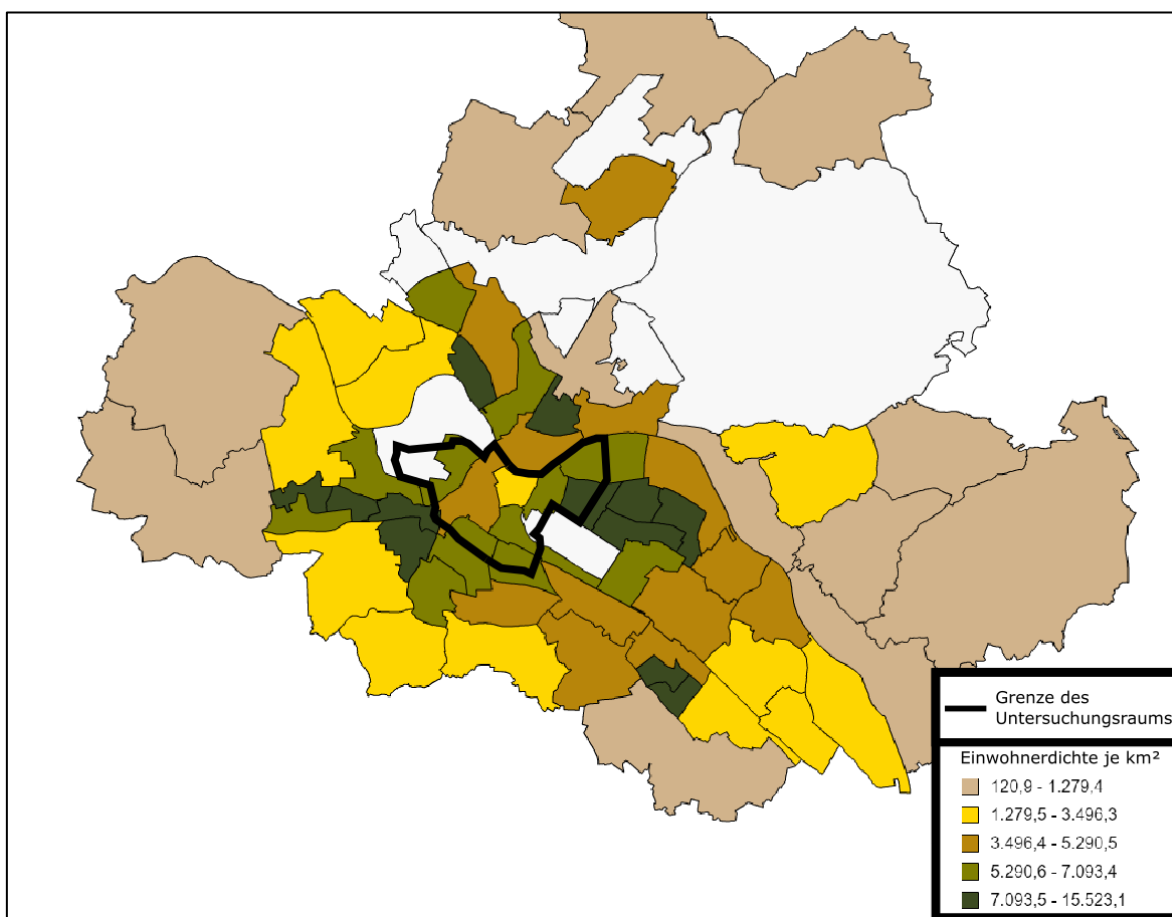
Abbildung 34: Einwohnerdichte Düsseldorf und Untersuchungsraum 2015



Quelle: [35]

g) Dresden

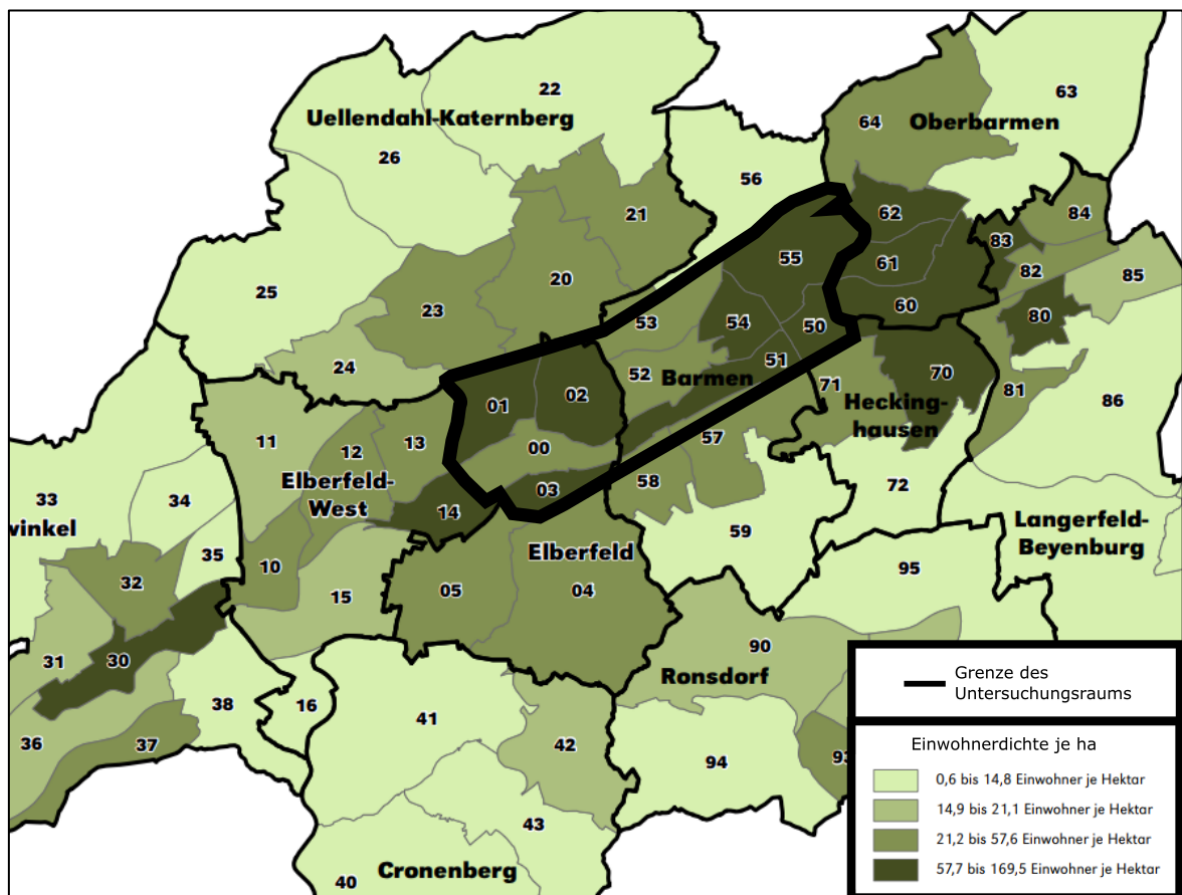
Abbildung 35: Einwohnerdichte Dresden und Untersuchungsraum 2016



Quelle: [36]

h) Wuppertal

Abbildung 36: Einwohnerdichte Wuppertal und Untersuchungsraum 2015



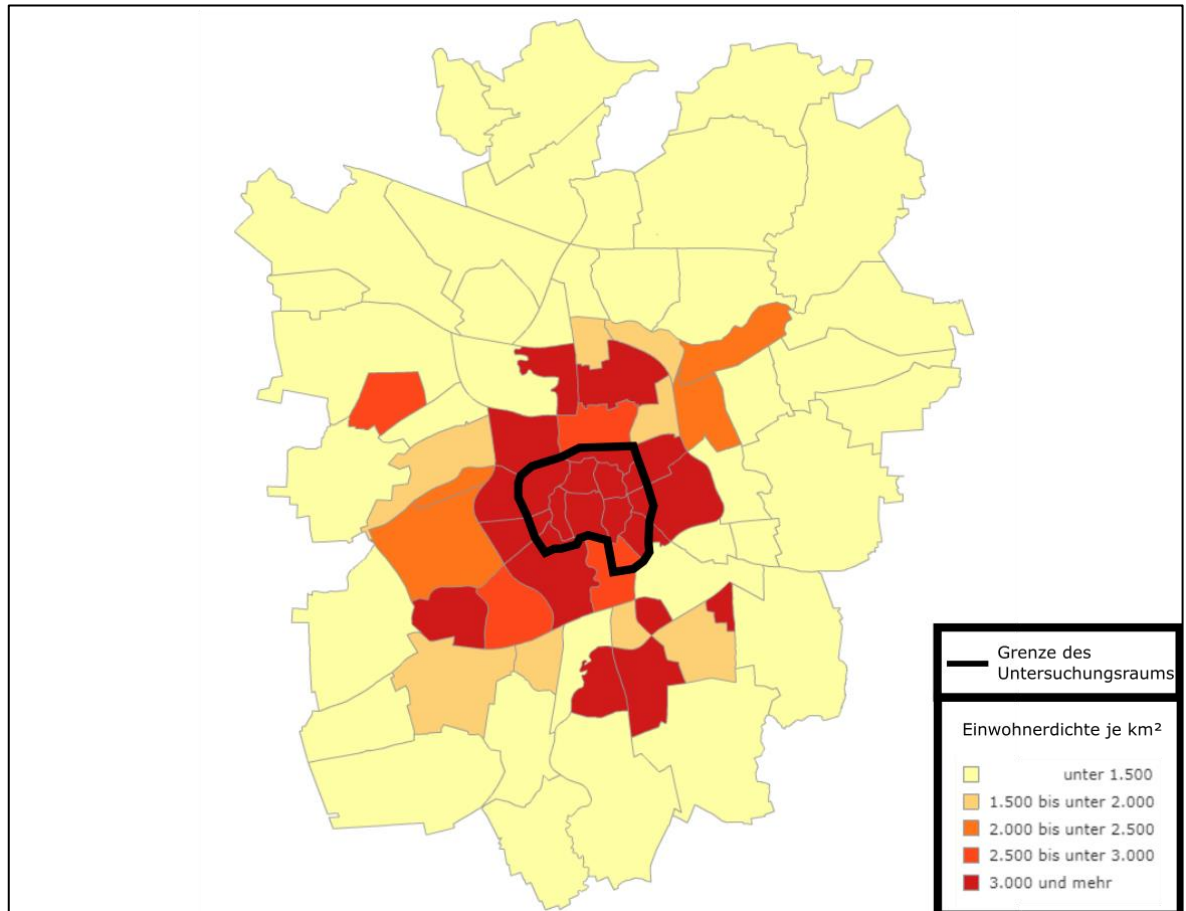
Quelle: [37]

i) Bonn

Für die Stadt Bonn ist keine Karte der Bevölkerungsdichte verfügbar.

j) Braunschweig

Abbildung 37: Einwohnerdichte Braunschweig und Untersuchungsraum 2014



Quelle: [38]

k) Freiburg

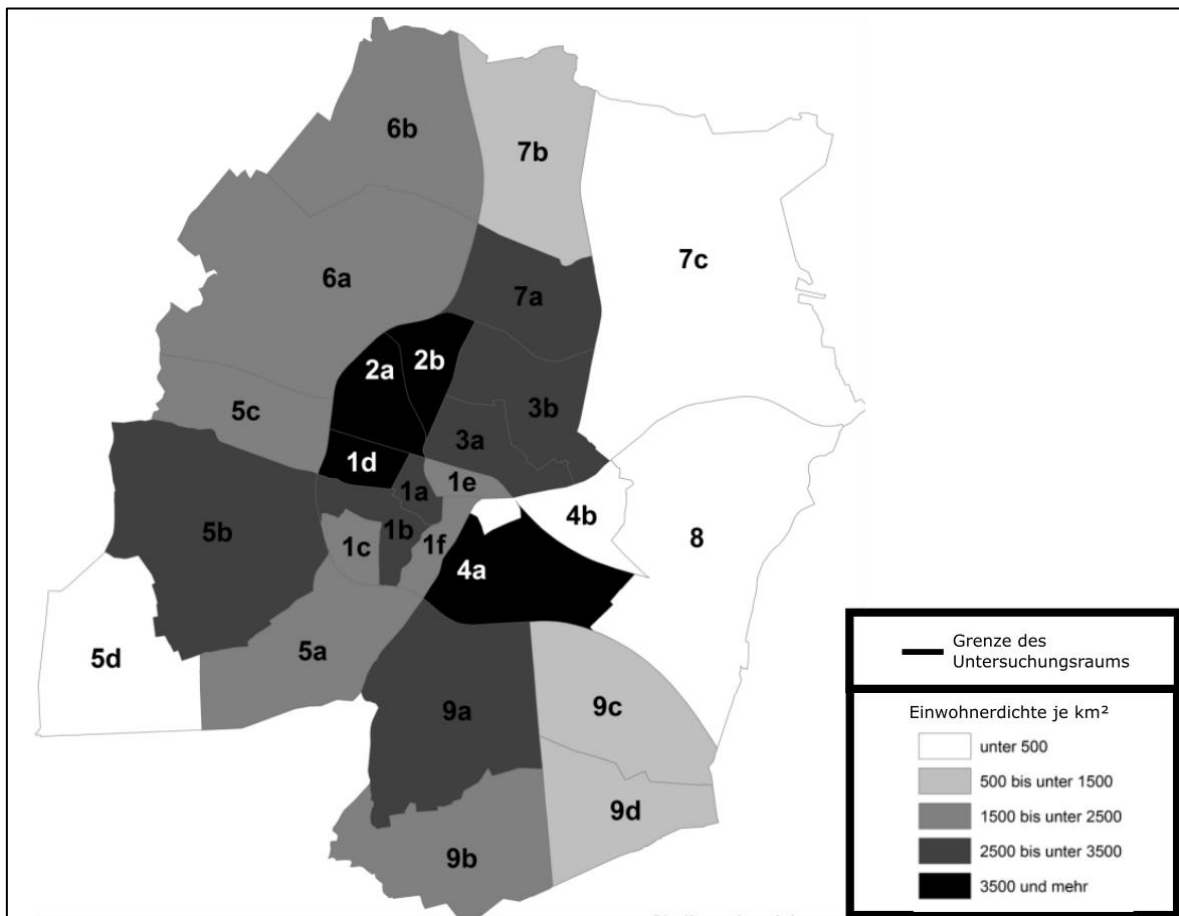
Für die Stadt Freiburg ist keine Karte der Bevölkerungsdichte verfügbar.

l) Potsdam

Für die Stadt Potsdam ist keine Karte der Bevölkerungsdichte verfügbar.

m) Oldenburg

Abbildung 38: Einwohnerdichte Oldenburg und Untersuchungsraum 2016

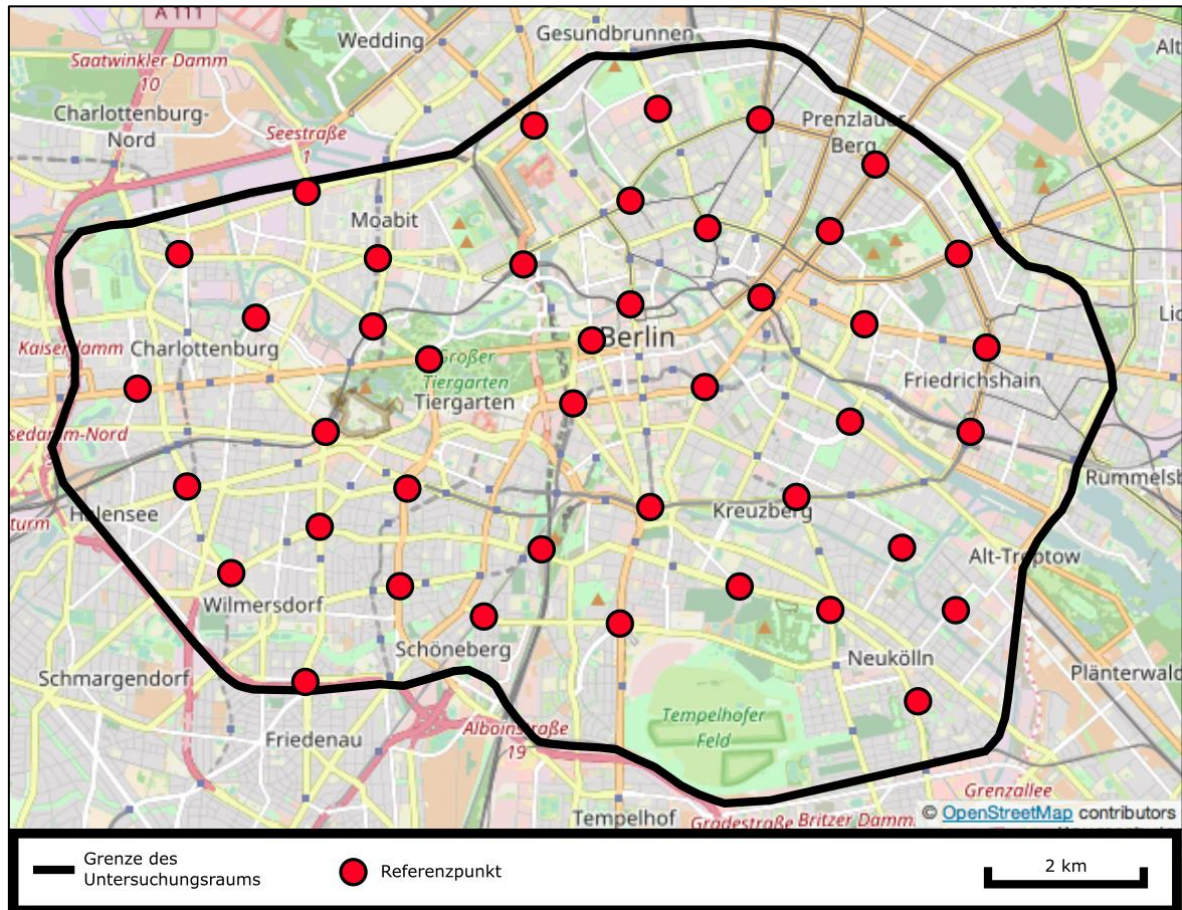


Quelle: [39]

II. Referenzpunkte

a) Berlin

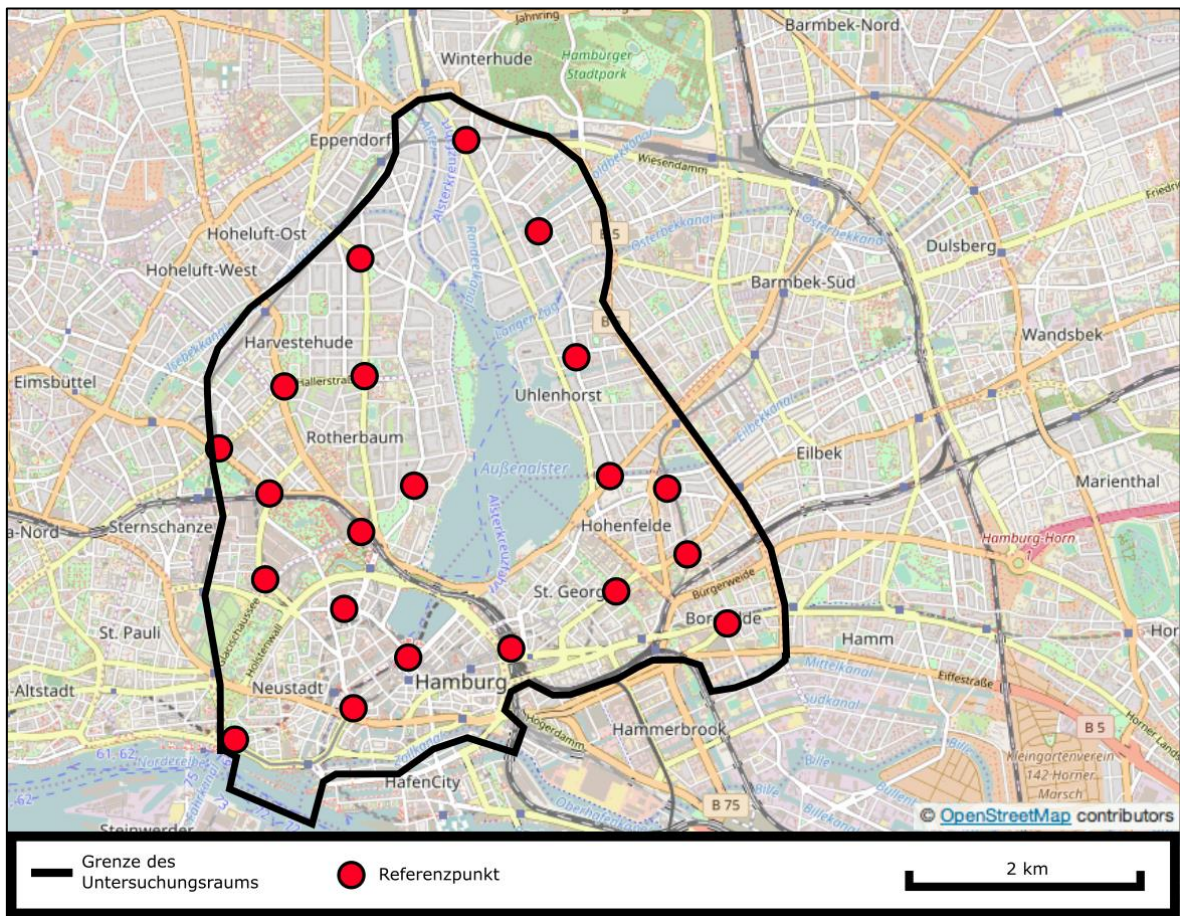
Abbildung 39: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Berlin



Quelle: [18]

b) Hamburg

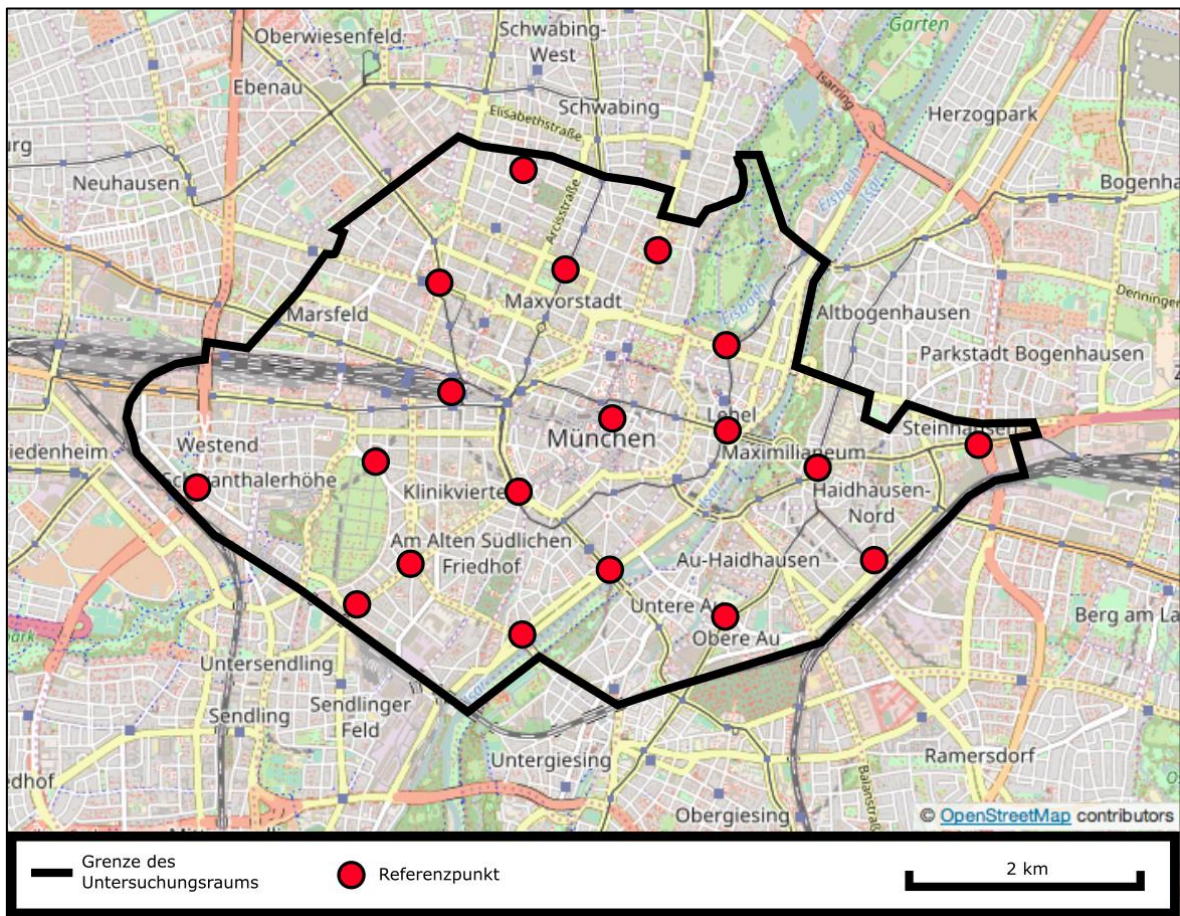
Abbildung 40: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Hamburg



Quelle: [18]

c) München

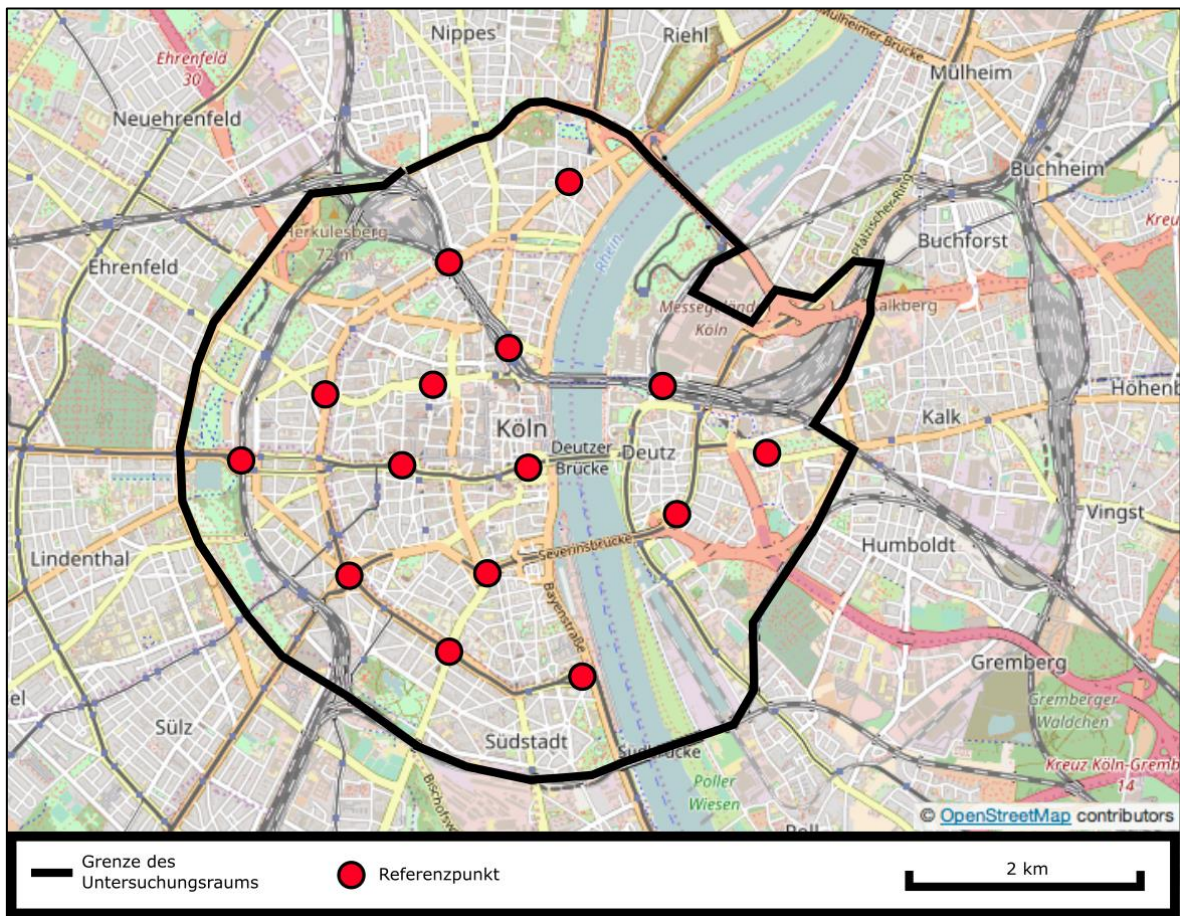
Abbildung 41: Referenzpunkte und Untersuchungsraum München



Quelle: [18]

d) Köln

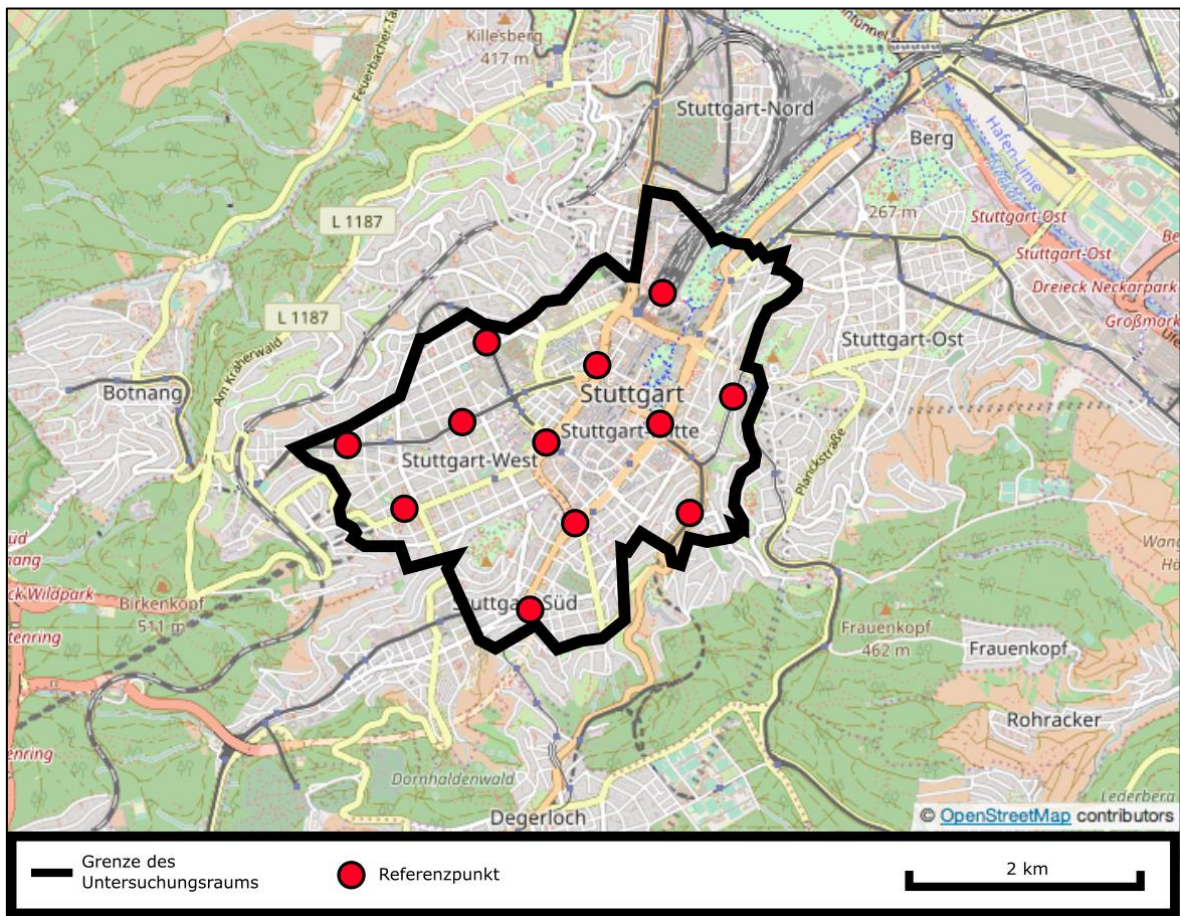
Abbildung 42: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Köln



Quelle: [18]

e) Stuttgart

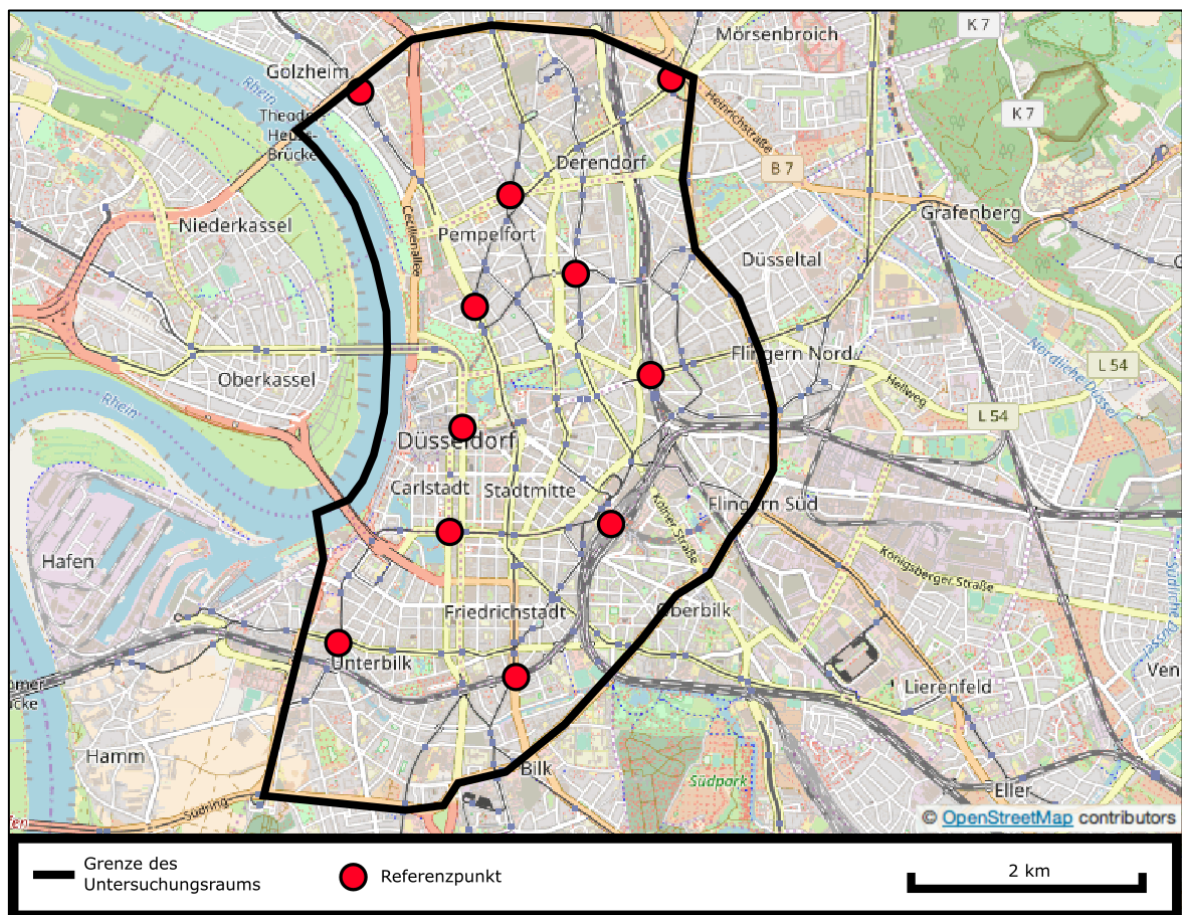
Abbildung 43: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Stuttgart



Quelle: [18]

f) Düsseldorf

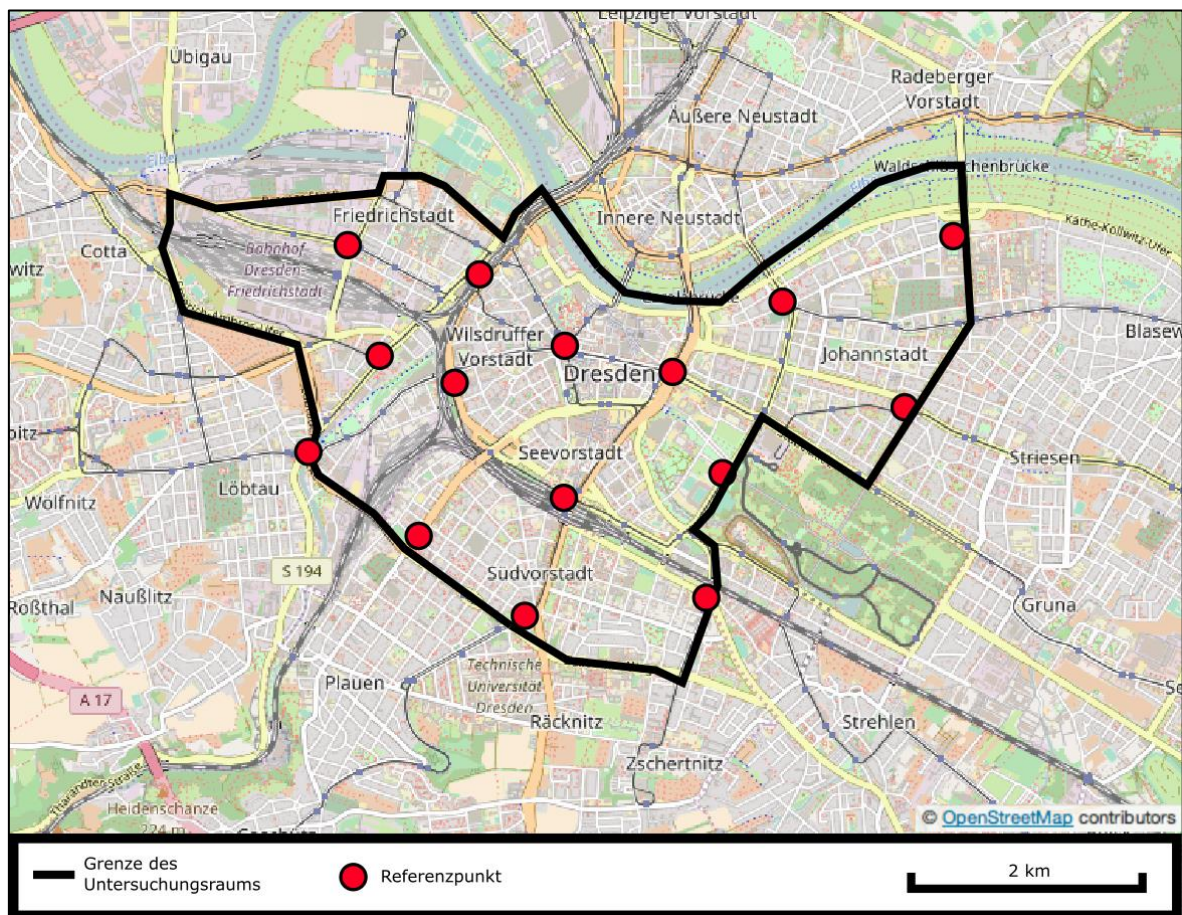
Abbildung 44: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Düsseldorf



Quelle: [18]

g) Dresden

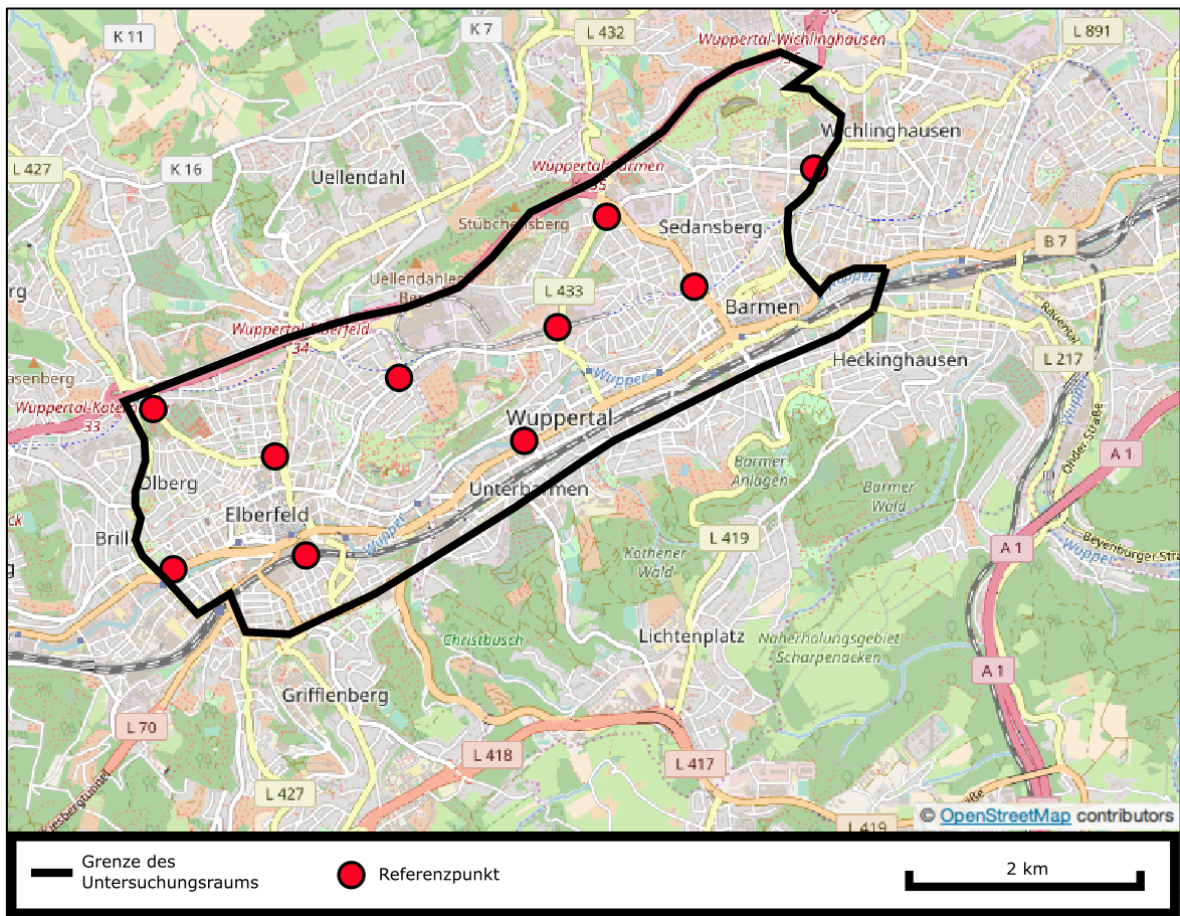
Abbildung 45: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Dresden



Quelle: [18]

h) Wuppertal

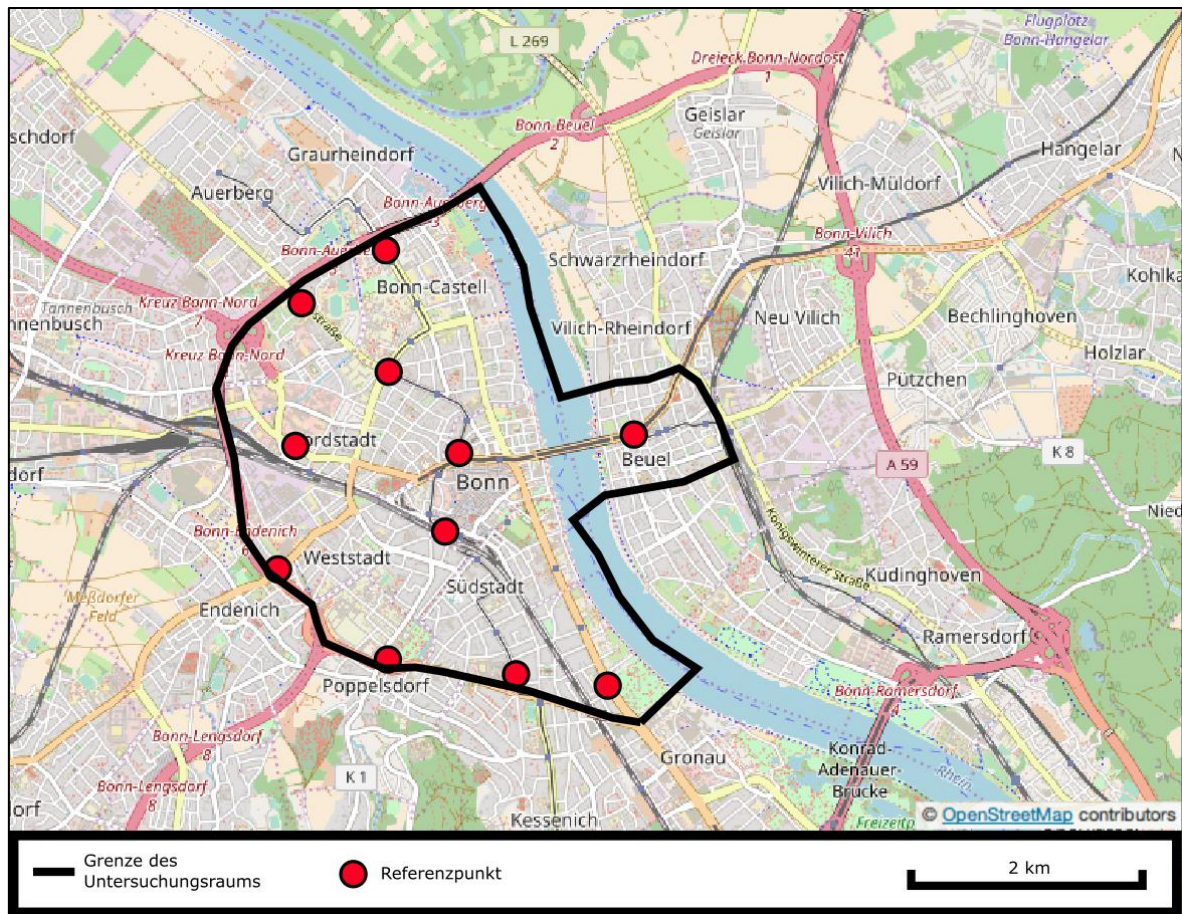
Abbildung 46: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Wuppertal



Quelle: [18]

i) Bonn

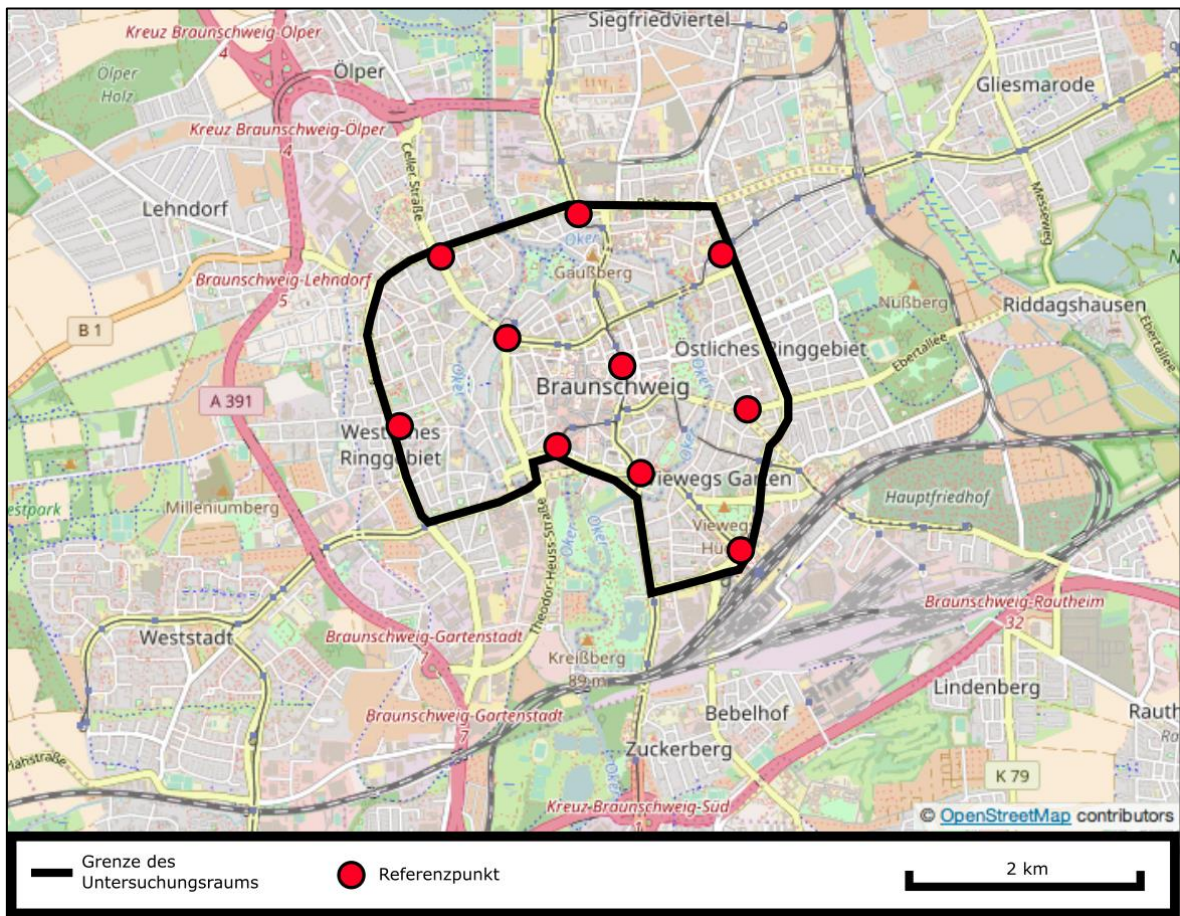
Abbildung 47: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Bonn



Quelle: [18]

j) Braunschweig

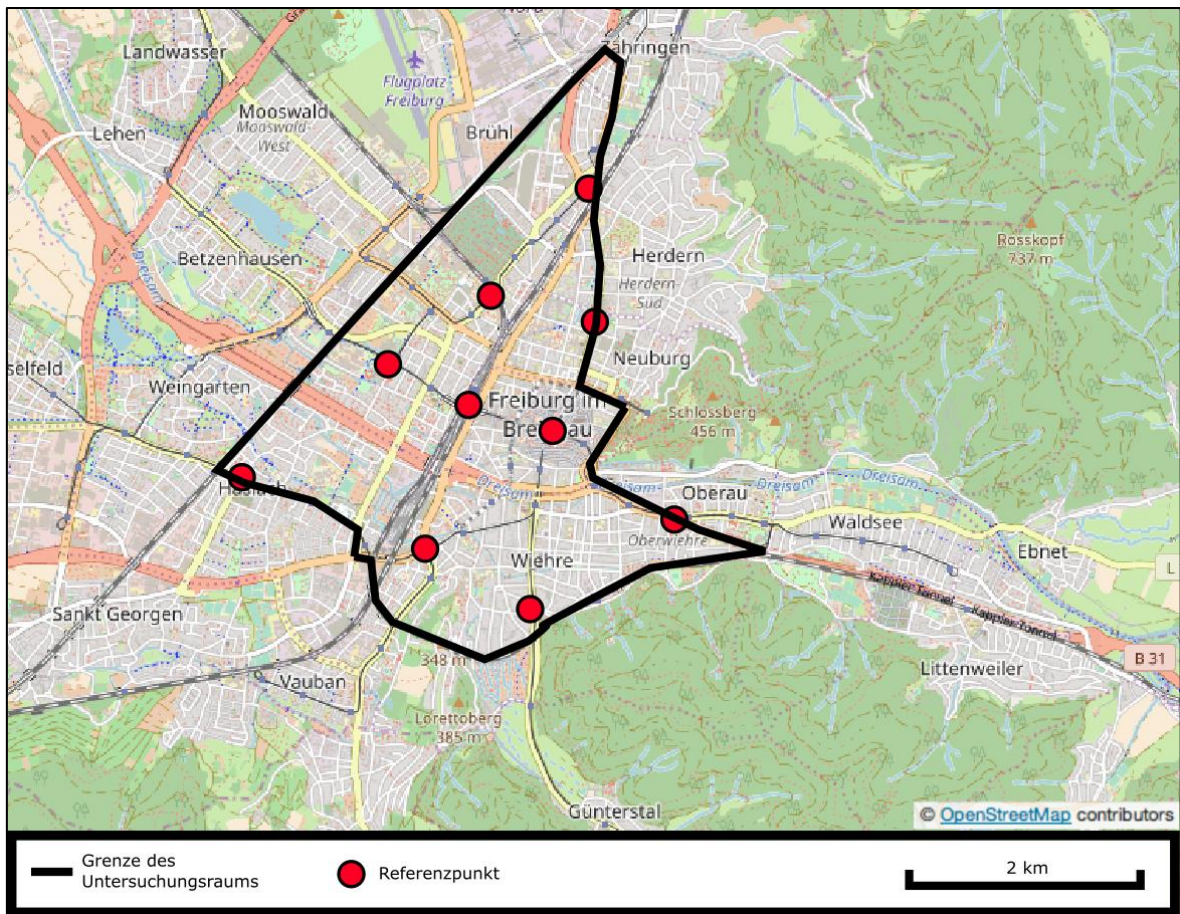
Abbildung 48: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Braunschweig



Quelle: [18]

k) Freiburg

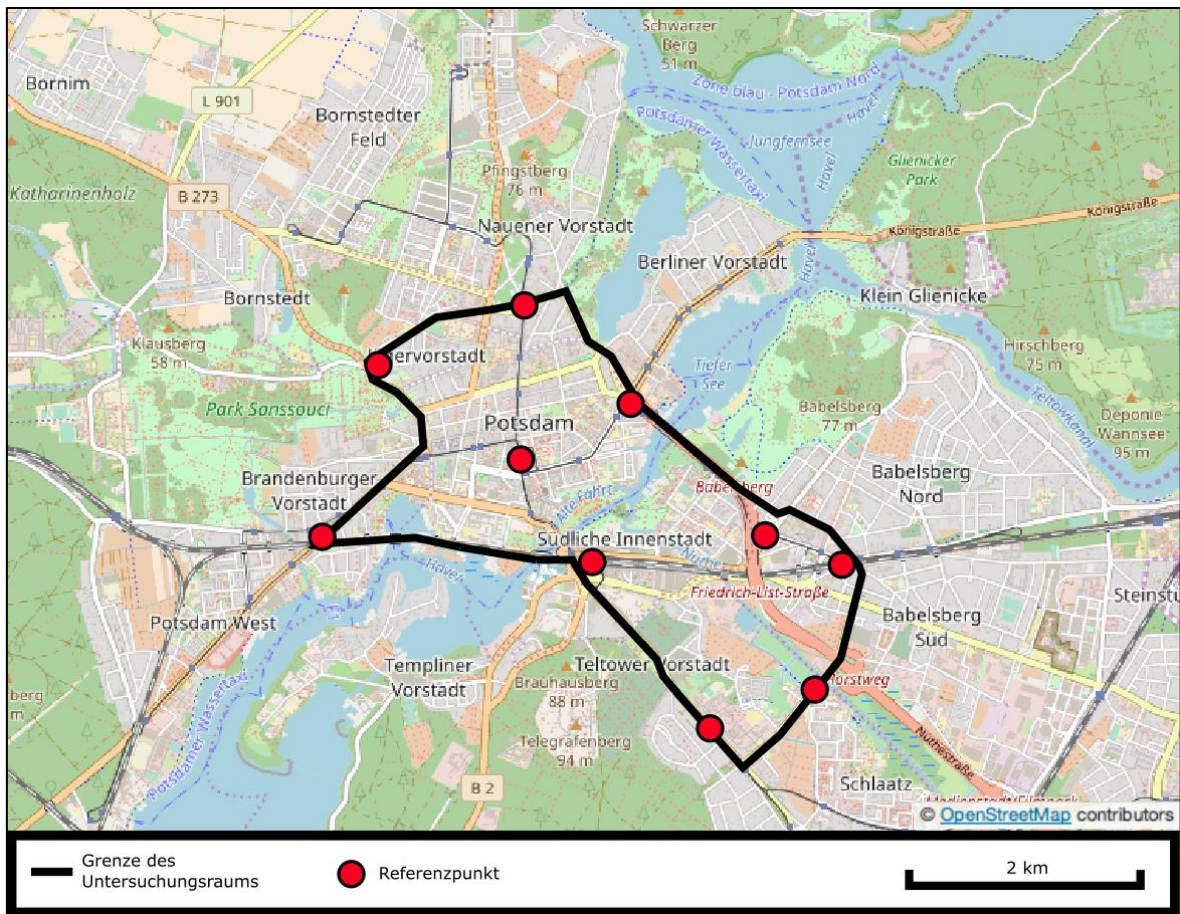
Abbildung 49: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Freiburg



Quelle: [18]

I) Potsdam

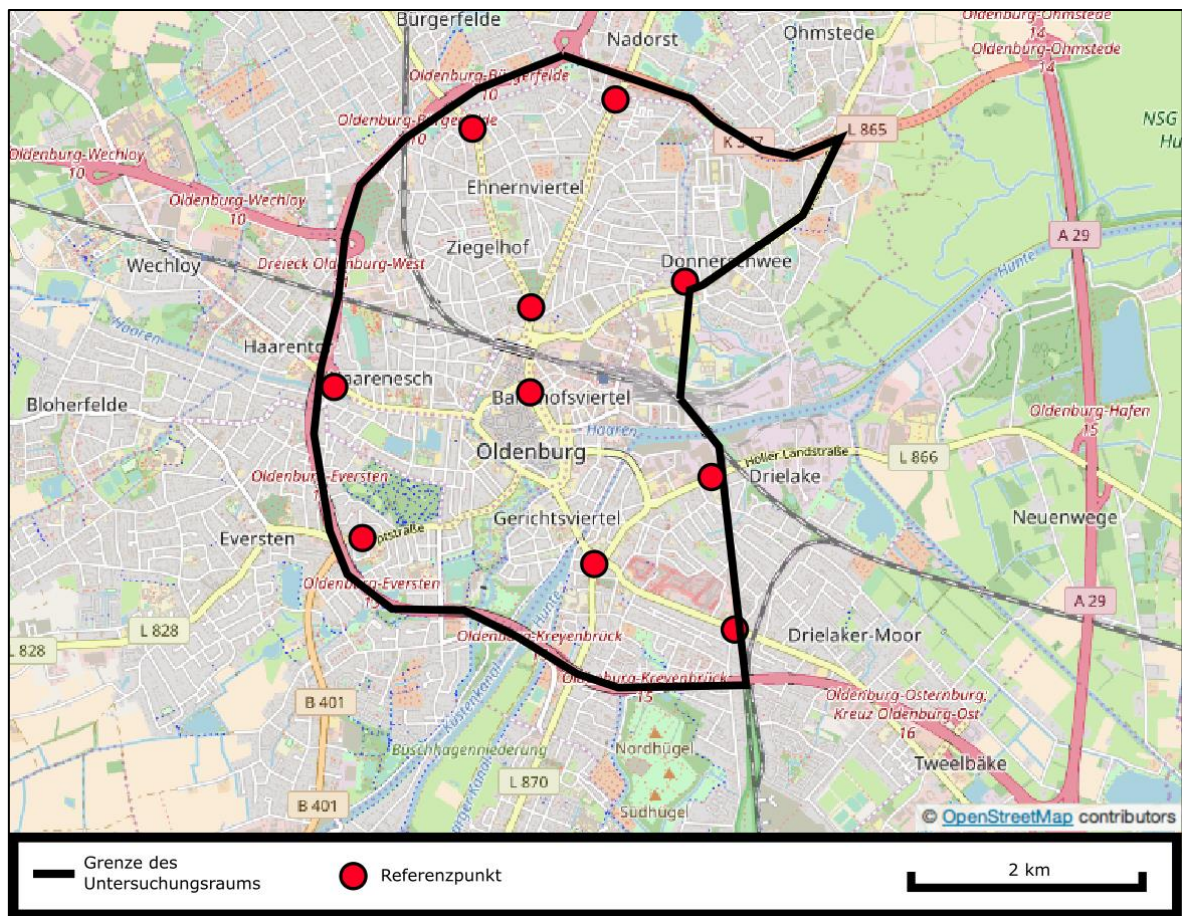
Abbildung 50: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Potsdam



Quelle: [18]

m) Oldenburg

Abbildung 51: Referenzpunkte und Untersuchungsraum Oldenburg



Quelle: [18]

III. Ungewichtete Werte

Tabelle 17: Ungewichtete Kennwerte (Mittelwert) je Stadt

Einwohner	100.000 bis 250.000				250.000 bis 500.000				500.000 bis 1 Mio.			
Städte	Oldenburg	Potsdam	Freiburg	Gemeinsam	Braunschweig	Bonn	Wuppertal	Gemeinsam	Dresden	Düsseldorf	Stuttgart	Gemeinsam
Reisezeitverhältnis ÖV/MIV	1,78	1,15	1,34	1,43	1,32	1,62	1,66	1,54	1,34	1,07	0,99	1,17
Bus/MIV	1,74	1,30	1,37	1,66	1,37	2,07	1,95	1,71	1,39	1,51	1,13	1,34
Fahrrad/MIV	1,25	1,09	0,97	1,10	1,06	1,11	1,56	1,23	1,27	1,19	1,29	1,25
Luftliniengeschwindigkeit MIV [km/h]	17	14	11	14	13	15	16	15	16	14	12	14
ÖV [km/h]	11	13	9	11	10	10	10	10	12	15	13	13
Bus [km/h]	11	10	10	10	10	8	8	9	12	12	11	11
Fahrrad [km/h]	13	14	12	13	12	13	10	12	12	12	10	12
Umwegfaktor MIV	1,60	1,49	1,52	1,54	1,50	1,50	1,64	1,55	1,45	1,59	1,50	1,50
ÖV	1,44	1,17	1,52	1,38	1,23	1,35	1,51	1,37	1,31	1,22	1,42	1,32
Bus	1,45	1,31	1,45	1,43	1,30	1,42	1,59	1,43	1,25	1,25	1,21	1,24
Fahrrad	1,27	1,24	1,36	1,29	1,27	1,32	1,35	1,29	1,27	1,27	1,34	1,34
Anzahl Routen	45	45	45	135	45	45	55	145	105	55	66	226
Einwohner	1 Mio. bis 2,5 Mio.				Ab 2,5 Mio.				Alle			
Städte	Köln	München	Hamburg	Gemeinsam	Berlin			Gemeinsam				
Reisezeitverhältnis ÖV/MIV	1,06	0,77	1,08	0,96	1,05			1,11				
Bus/MIV	0,82	1,25	1,39	1,32	1,46			1,50				
Fahrrad/MIV	1,16	0,98	1,15	1,09	1,31			1,23				
Luftliniengeschwindigkeit MIV [km/h]	12	11	14	12	17			15				
ÖV [km/h]	12	18	14	15	17			15				
Bus [km/h]	9	10	10	10	11			10				
Fahrrad [km/h]	10	11	12	11	13			12				
Umwegfaktor MIV	1,71	1,50	1,37	1,50	1,30			1,41				
ÖV	1,34	1,32	1,44	1,37	1,34			1,35				
Bus	1,17	1,34	1,35	1,34	1,22			1,33				
Fahrrad	1,35	1,36	1,32	1,26	1,26			1,29				
Anzahl Routen	105	171	190	466	861			1833				